

VERGLEICHENDE
VISKOSIMETRISCHE UNTERSUCHUNG
DER SEKRETE DES OBEREN
RESPIRATIONSTRAKTES

Henning Reuter

Diss München
1904





Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41554007_0090

Aus der Hals-, Nasen- und Ohrenklinik der Universität
München

Direktor: Prof. Dr. H. H. Naumann

VERGLEICHENDE VISKOSIMETRISCHE UNTERSUCHUNG DER
SEKRETE DES OBEREN RESPIRATIONSTRAKTES

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung der Doktorwürde in der gesamten
Medizin
an der Ludwig Maximilians-Universität München

vorgelegt von

HENNING REUTER

aus Flensburg

1983

Mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät
der Universität München

Berichterstatter: Prof. Dr. H. Eichner

Mitberichterstatter: Prof. Dr. H. H. Naumann

Dekan: Prof. Dr. W. Spann

Tag der mündlichen Prüfung: 13.03.1984

INHALTSVERZEICHNIS

I. Einleitung

II. Theoretischer Teil

1. Physiologische Grundlagen
2. Physikalische Grundlagen
3. Methoden der Viskositätsmessung

III. Praktischer Teil

1. Material und Methodik

- a. Patientengut
- b. Technik der Probenentnahme
- c. Meßmethode mit dem Kapillarviskosimeter "Molekulex"
- d. Meßmethode mit dem Rotationsviskosimeter "Deer Rheometer PDR 81"
- e. Meßmethode mit dem Haake-Viskosimeter "RV 100"

2. Ergebnisse

A. Untersuchungsergebnisse für das Parotissekret

- a. Flußratenbestimmung
- b. pH-Wert-Änderung beim Parotissekret unter Ruhe- und Reizbedingungen
- c. Kapillarviskosimetrische Untersuchungen
- d. Rotationsviskosimetrische Untersuchungen der Parotissekrete mit dem "Deer Rheometer"
- e. Rotationsviskosimetrische Untersuchungen des Parotissekretes mit dem Haake-Viskosimeter "RV 100"
- f. Viskositätsänderung nach unterschiedlicher Lagerung beim Parotissekret
- g. Übersichtsdarstellung der Änderung von Flußrate, pH-Wert und Viskosität nach Ascorbinsäurereiz beim Parotissekret

B. Untersuchungsergebnisse für das Submandibularissekret

- a. Flußratenbestimmung
- b. pH-Wert-Änderung des Submandibularissekretes unter Ruhe- und Reizbedingungen
- c. Kapillarviskosimetrische Untersuchungen des Submandibularissekretes
- d. Rotationsviskosimetrische Untersuchungen der Submandibularissekrete mit dem "Deer Rheometer PDR 81"
- e. Rotationsviskosimetrische Untersuchung des Submandibularissekretes mit dem Haake-Viskosimeter "RV 100"
- f. Änderung der Viskosität des Submandibularissekretes nach unterschiedlicher Lagerung
- g. Übersichtsdarstellung der Änderung von Flußrate, pH-Wert und Viskosität nach Ascorbinsäurereiz beim Submandibularissekret

IV. Diskussion

1. Unterschiede des Viskositätsverhaltens von Parotis- und Submandibularissekret
2. Vergleich von Flußrate, pH-Wert und Viskosität von Parotis- und Submandibularissekret
3. Vergleich der Hystereseigenschaften von Parotis- und Submandibularissekret
4. Interpretation der Ergebnisse

V. Zusammenfassung

VI. Anhang:

Mit dem Haake-Viskosimeter "RV 100" geschriebene Fließkurven

VII. Literaturverzeichnis

Lebenslauf

Danksagung

I.

E I N L E I T U N G

Erstmals wurden von Th. Graham 1864 (18) Proteinlösungen auf ihre Fließeigenschaften unter Einwirkung einer Spannung untersucht (7). Das Gerät, mit dem er seine Untersuchungen durchführte, nannte er Kolloidoskop.

Bis heute sind viele Geräte zur Messung der Viskosität entwickelt worden, bei denen die verschiedenen Formen der laminaren Strömungen ausgenutzt werden. Am Gesamtspeichel wurden erstmals von W. Kopaczewski 1937 viskosimetrische Untersuchungen durchgeführt (19).

Inzwischen werden auf allen Gebieten der Medizin mit den verschiedensten Fragestellungen viskosimetrische Untersuchungen angewandt (3, 17):

Blutviskositätsmessungen (2) bei verschiedenen Erkrankungen, wie z. B. nach einem Infarktgeschehen (4), bei Diabetes mellitus mit Mikroangiopathie (14), Blutviskositätsveränderungen bei Hyperlipoproteinämie (1), zur Beurteilung krankhafter Veränderungen menschlicher Synovialflüssigkeit bei Erkrankungen des rheumatischen Formenkreises (22, 25), zur Differenzierung pathologisch veränderten Tracheobronchialschleimes (9, 12, 13) und seine Zuordnung zu Erkrankungen des Tracheobronchialbereiches, und schließlich wurden viskosimetrische Untersuchungen des Nasennebenhöhlensekretes durchgeführt (15).

In der vorliegenden Arbeit erfolgten viskosimetrische Untersuchungen des Sekretes der Ohrspeicheldrüse und der Unterkieferspeicheldrüse.

II.

T H E O R E T I S C H E R T E I L

1. Physiologische Grundlagen

Der Gesamtspeichel wird unter Ruhebedingungen zu 24 % durch die Parotis, zu 68 % durch die Submandibularis, zu 2 % durch die Sublingualis und zu 6 % durch die übrigen kleinen Speicheldrüsen erzeugt.

Bei Stimulation mit Ascorbinsäure, wie in der vorliegenden Arbeit, verteilen sich die einzelnen Speicheldrüsenfraktionen folgendermaßen:

45 % Parotis, 46 % Submandibularis, 1,5 % Sublingualis, 7,5 % die übrigen kleinen Speicheldrüsen.

Neben den diurnalen Schwankungen der Speicheldrüsensekretion ist die Zusammensetzung des Speichels im wesentlichen von folgenden Faktoren abhängig:

1. Flußrate
2. Stimulationsart,
3. Dauer der Stimulation
4. Hormonale Veränderung
5. Alter
6. Geschlecht
7. Diät und Eßgewohnheiten
8. Plasmaspiegel der untersuchten Stoffe
9. Psychologische Faktoren

Neben den anorganischen Bestandteilen (16) finden sich in den Speicheldrüsensekreten organische Bestandteile. Die Konzentration der Gesamtproteine des Parotissekretes liegt zwischen 50 und 750 mg %.



Unter Ascorbinsäure zeigt der Großteil der Drüsen eine Abnahme der Proteinkonzentration des Sekretes.

Der Hauptteil der Parotissekretproteine sind drüsen-eigene Proteine. Die Amylase stellt das Hauptprotein im Parotissekret dar und auch einen wesentlichen Teil des ausgeschiedenen Proteins im Submandibularissekret.

Ferner finden sich im Speichel Phosphatasen, BAEE-Esterasen, Proteaseninhibitoren, Glycoproteine, Immunglobuline und Blutgruppensubstanzen (10, 11).

2. Physikalische Grundlagen

Die Viskosität wird in der Rheologie durch folgende Beziehung ausgedrückt:

$$\text{Viskosität } (\eta) = \frac{\text{Schubspannung } (\tau)}{\text{Schergefälle } (D)}$$

Die Maßeinheit der Schubspannung wird in $\text{dyn} \cdot \text{cm}^{-2}$ ausgedrückt, das Schergefälle in sec^{-1} und die Viskosität η in mPas.

Nach S. I. Newton, der als erster das Phänomen der Viskosität beschrieb, werden die Flüssigkeiten in Newton'sche und nicht-Newton'sche eingeteilt (21).

Bei einer Newton'schen Flüssigkeit wie Wasser, Glycerin und Öl ist die Viskosität eine Proportionalitätskonstante, die Schubspannung also proportional dem Schergefälle.

Die Viskosität wird bei Newton'schen Flüssigkeiten lediglich durch den Druck und die Temperatur beeinflusst. Wird die Viskosität gegen die Schubspannung in einem Rheogramm aufgetragen, erhält man bei Newton'schen Flüssigkeiten eine Gerade. Bei Fließkurven wird die Schubspannung τ gegen das Schergefälle D aufgetragen.

Bei nicht-Newton'schen Flüssigkeiten ist die Viskosität keine Proportionalitätskonstante. Schubspannung und Schergefälle verhalten sich nicht proportional zueinander.

Man findet ein derartiges Fließverhalten z. B. beim Blut, der Gelenkflüssigkeit und dem Sputum.

Bei proteinhaltigen Körperflüssigkeiten wird eine Strukturviskosität gefunden, d. h. es kommt zu einer Abnahme der Viskosität bei höheren Schubspannungen.

Die Abbildung 1 zeigt die Änderung der Blutviskosität bei ansteigendem Schergefälle (4). Es kommt hier bei zunehmendem Schergefälle zu einem Viskositätsabfall von 70 auf 4 mPas.

Abbildung 2 zeigt die viskosimetrische Untersuchung einer Sputumprobe (8), die mit ansteigender (Pfeil nach oben) und wieder abfallender (Pfeil nach unten) Schubspannung belastet wurde. Die Schubspannung ist in diesem Diagramm gegen das Schergefälle aufgetragen. Beginnend bei 0 bis A verläuft die Kurve mit nur geringer Steigung ohne wesentliche Zunahme des Schergefälles, d. h. es werden hohe Viskositätswerte gemessen. Bei A kommt es mit zunehmender Schubspannung und bei andauernder Belastung zu einer plötzlichen Zunahme des Schergefälles, was einem Abfall der Viskosität entspricht.

Nach Erreichen der maximalen Schubspannung von 980 dyn cm^{-2} nach 60 Sekunden wurde in den nächsten 60 Sekunden die Schubspannung schrittweise erniedrigt (Pfeil nach unten). Diese Kurve liegt links von der zuerst ermittelten.

Es werden jetzt bei gleicher Schubspannung höhere Schergefälle gemessen, entsprechend einer niedrigeren Viskosität.

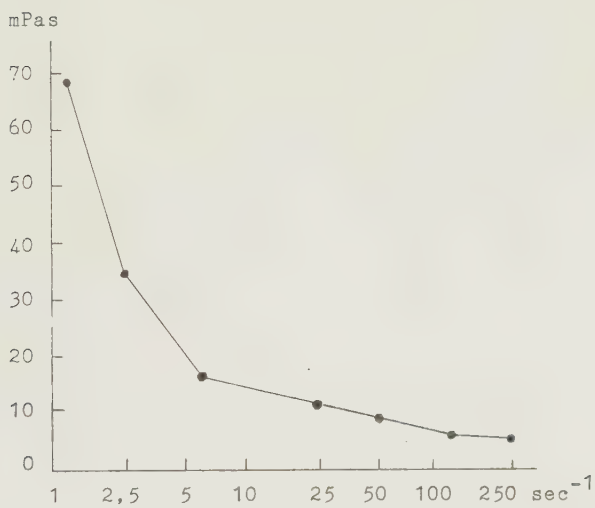


Abb. 1

Viskosität des Blutes in Abhängigkeit vom Scher-
gefälle (4).

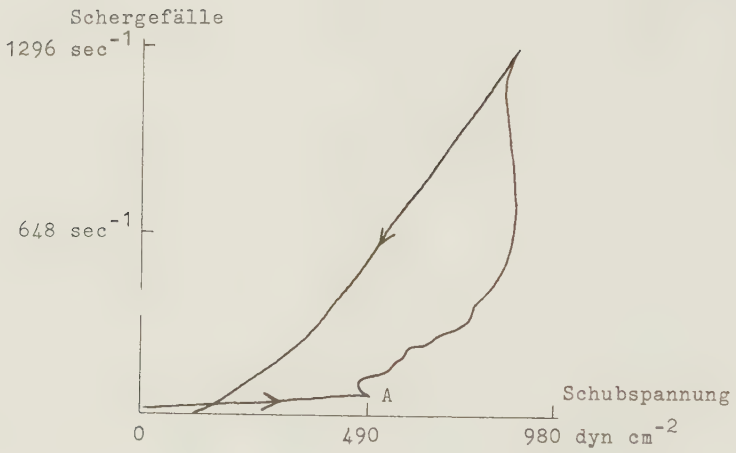


Abb. 2:
Hysteresekurve von Sputum (8)

Unter der Behandlung kam es zu einer irreversiblen Zerstörung der Proteinstrukturen, die mit einem Viskositätsabfall einhergehen. Es handelt sich um ein strukturviskoses, thixotropes Fließverhalten (7).

3. Methoden der Viskositätsmessung

Seit dem Beginn intensiver Viskositätsmessungen durch G. Hagen (1839) und J. L. M. Poiseuille (1846), die ein Kapillarviskosimeter benutzten, ist eine Vielzahl von Geräten entwickelt worden, bei denen im wesentlichen die verschiedenen Formen der laminaren Strömungen ausgenutzt werden (7, 18).

Die heute gebräuchlichsten Verfahren sind (20):

1. Fallkörperviskosimeter

Ein Festkörper (z. B. eine Kugel) wird gleichförmig von einer Flüssigkeit umströmt.

Beim Kugelfallviskosimeter nach Höppler fällt in einem um 10 Grad geneigten Rohr eine Kugel durch die zu messende Flüssigkeit. Die dazu benötigte Zeit dient als Maß für die Viskosität.

Eine Sonderform ist das magnetische Schwingungsrheometer, bei dem eine Kugel durch ein Magnetfeld in dem zu messenden Medium waagrecht hin und her bewegt wird.

2. Rotationsviskosimeter

Das Meßprinzip ist hier die Couette-Strömung.

Es handelt sich um eine laminare Strömung im Raum zwischen zwei parallelen, theoretisch unendlich ausgedehnten Ebenen. Die Meßflüssigkeit füllt den Spalt zwischen einem rotierenden inneren und ruhenden äußeren Zylinder oder umgekehrt.

3. Kapillarviskosimeter

Das Meßprinzip beruht auf dem Hagen-Poiseuille'schen Gesetz der Kapillarströmung.

Die Durchlaufzeit einer in einer Kapillare laminar strömenden Flüssigkeit wird als Maß für die Viskosität verwendet.

Davis (20) hat die unterschiedlichen Verfahren hinsichtlich ihrer Vor- und Nachteile untersucht.

Das Zylinder-Rotationsviskosimeter und das Kegel/Platte-Viskosimeter eignen sich besonders gut zur Darstellung eines nicht-Newton'schen Fließverhaltens. Das Kapillarviskosimeter ist einfacher zu handhaben.

Bei allen drei Verfahren werden jedoch die Proteinstrukturen der untersuchten Körperflüssigkeiten bei hohem Schergefälle zerstört.

Mit den Rotationsviskosimetern kann bei Schergeschwindigkeiten untersucht werden, die unter in vivo-Bedingungen nicht auftreten.

Beim Kegel/Platte-Viskosimeter, das nur kleine Probenmengen erfordert, kann es zur Austrocknung der Proben kommen, insbesondere, wenn der Meßvorgang länger dauert; darüberhinaus können niederviskose Substanzen von der Meßoberfläche geschleudert werden.

III.

P R A K T I S C H E R T E I L

1. Material und Methodik

a. Patientengut

Insgesamt wurden 41 Normalpersonen männlichen und weiblichen Geschlechts im Alter von 19 bis 63 Jahren untersucht.

Keine der Personen war wegen einer Erkrankung der Speicheldrüsen in stationärer Behandlung. Es wurden Sekrete von 28 verschiedenen Parotisdrüsen und von 23 verschiedenen Submandibularisdrüsen untersucht.

b. Technik der Probenentnahme

Nach Sondierung des Ductus parotideus bzw. des Ductus submandibularis und Einführen und Fixieren eines Polyvinylkatheters mit einem Gesamtdurchmesser von 1 mm bei einem Innendurchmesser von 0,5 mm wurde das abtropfende Sekret in einem Fraktionsteiler in graduierten Zentrifugengläsern gesammelt.

Die Menge des Sekretes konnte nach Abschluß der Entnahme in den graduierten Zentrifugengläsern abgelesen und in ein Protokoll eingetragen werden.

c. Meßmethode mit dem Kapillarviskosimeter "Molekulex"

Die Messungen wurden mit dem modifizierten Kapillarviskosimeter "Molekulex" durchgeführt, das von E. Weller beschrieben wird (23, 24).

Das Meßprinzip beruht auf dem Hagen-Poiseuille'schen Gesetz der Kapillarströmung:

$$\Delta P = \eta \cdot \frac{8 \cdot L}{\pi \cdot r^4} \cdot \frac{V}{T}$$

P = Differenzdruck in mbar an der
horizontal gestellten Kapillare

L = Länge der Kapillare

$\frac{V}{T}$ = Strömungsstärke ($\frac{\text{cm}^3}{\text{sec}}$)

Der Differenzdruck wurde bei den Messungen mit dem empfindlichsten Drucknehmer (Nr. SP-65-L, Fa. Sensometrics Incorporated) gemessen.

Die Länge der Kapillare betrug 10 cm, Kapillardurchmesser: 1 mm. Durch Verwendung eines rückkopplungsgesteuerten Motors wird die Stromstärke konstant gehalten. Mit einer zusammenfassenden Konstanten $\bar{c}$ läßt sich die Formel also schreiben:

$$\Delta P = \eta \cdot \bar{c}$$

Für destilliertes Wasser wird bei 20 °C ein Zeigerausschlag von 10 mm gemessen, entsprechend einer Viskosität von 1 mPas. (Kapillardurchmesser 1 mm, Kapillarlänge 10 cm, Empfindlichkeit der Drucksignalverstärkung 0,5 mV).

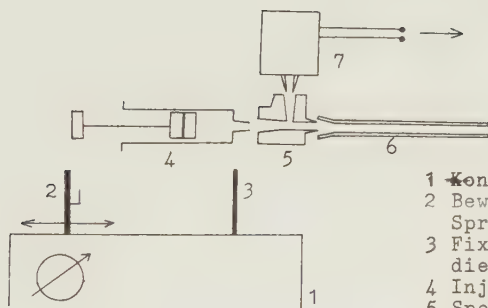
Vor Beginn der Messung wurde das System (T-Stück, auswechselbare Meßkapillare und Druckaufnehmer) mit destilliertem Wasser gefüllt.

Es wurde 1 ml Sekret in einer Tuberkulinspritze aus dem Fraktionsröhrchen aufgezogen; sämtliche Luftblasen, die in das Sekret gelangt waren, wurden durch leichtes Klopfen an der Tuberkulinspritze entfernt. Diese wurde dann auf das T-Stück aufgesetzt und der bewegliche Träger der Viskosimeterpumpe an den Spritzenstempel gebracht (s. Schaubild 1).

Die Empfindlichkeit der Drucksignalverstärkung betrug bei allen Messungen 0,5 mV. Alle Sekretproben wurden bei vier unterschiedlichen Geschwindigkeitsgradienten $\bar{G}$ (Strömungsgeschwindigkeiten) untersucht: 3,2, 4,8, 7,0 und 11,8 sec⁻¹.

Der Meßvorgang begann, sobald die Viskosimeterpumpe sich in Betrieb setzte. Der bewegliche Träger der Viskosimeterpumpe drückte auf den Spritzstempel, so daß die Sekretprobe mit dem vorgewählten Geschwindigkeitsgradienten durch das T-Stück und die Meßkapillare fließen mußte. Der Ausschlag in mm am Registriergerät wurde notiert und der Meßvorgang nach 30 Sekunden unterbrochen.

Am Ende der Meßkapillare wurde das Parotis- bzw. das Submandibularissekret in ein mit Aqua dest. gefülltes Gefäß eingeleitet, dessen Wasserspiegel sich am Unterrand der Meßkapillare befand. Durch diese Anordnung wurden Fehlmessungen, die beim Abtropfen des herausgepreßten Sekretes aufgetreten wären und zu heftigen Zeigerausschlägen am Registriergerät geführt hätten, vermieden.



- 1 Kontinuierl. regelb. Pumpe
- 2 Bewegl. Träger für den
Spritzenstempel
- 3 Fixiertes Gegenlager für
die Injektionsspritze
- 4 Injektionsspritze
- 5 Spezial-T-Stück
- 6 Auswechselb. Meßkapillare
- 7 Druckaufnehmer

Schaubild 1:

Schematische Darstellung des Kapillarviskosimeters
"Molekulex" (24)

Das Kapillarviskosimeter ist nicht thermostatisiert. Es wurde bei einer konstanten Raumtemperatur von 20 °C gemessen.

Der Vorteil des Kapillarviskosimeters "Molekulex" ist, daß inhomogene nicht-Newton'sche Flüssigkeiten mit erheblich schwankender Viskosität untersucht werden können. Bei den üblichen Kapillarviskosimetern mit freiem Durchfluß durch die senkrecht gestellte Kapillare würden hochviskose Sekrete die Kapillare verstopfen und so keine Messung zulassen.

Die Eichkurven für das Kapillarviskosimeter zeigen Abbildung 3 und 4.

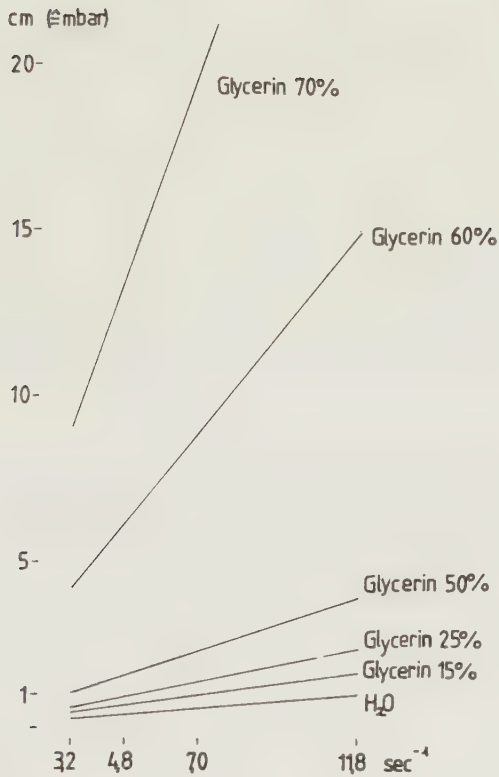


Abb. 3:

Mit dem Kapillarviskosimeter "Molekulex" erstellte Eichkurven für Wasser und verschieden konzentrierte Glycerinlösungen.

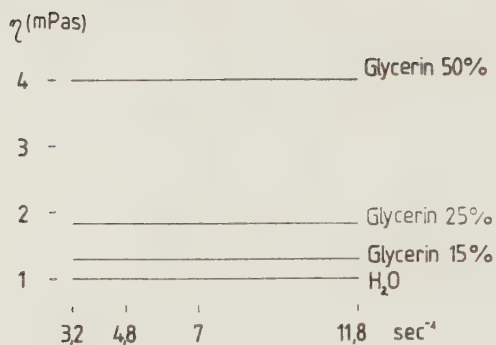


Abb. 4:

Mit dem Kapillarviskosimeter erstellte Eichkurven für H₂O und Glycerinlösungen verschiedener Konzentration.

d. Meßmethode mit dem Rotationsviskosimeter

"Deer Rheometer PDR 81"

Außerdem wurden alle Sekrete mit dem Deer Rheometer untersucht. Als Meßgeometrie stand ein Kegel/Platte-System zur Verfügung, Typ MG 1105 (Schaubild 2).

Der Durchmesser des Kegels maß 2,5 cm, der Kegelswinkel betrug 0,5 Winkelgrad, der Spaltabstand zwischen Kegel und Platte maß 0,017 mm.

Aufgrund des kleinen Kegeldurchmessers und der geringen Spaltbreite waren lediglich 40 µl pro Messung erforderlich. Die Platte, über der der Kegel rotierte, wurde durch einen Thermostaten auf 20 °C konstant gehalten.

Über ein Kompaktgerät, in dem die Steuer-, Regel- und Auswertelektronik zusammengefaßt war, wurde das Rotationsviskosimeter bedient. Ein luftgelagerter Motor, der einen reibungsarmen Lauf gewährleistete, wurde über das Regelgerät gesteuert.

Das Drehmoment als Maß für die Schubspannung (Maßeinheit: dyn cm^{-2}) konnte am Gerät eingestellt und über eine Digitalanzeige abgelesen werden. Die resultierende Winkelgeschwindigkeit als Maß für das Schergefälle (Maßeinheit: sec^{-1}) wurde an einer zweiten Digitalanzeige als Meßwert abgelesen.

Mit dieser Apparatur läßt sich eine konstante meßbare Schubspannung auf das Untersuchungsmaterial ausüben.

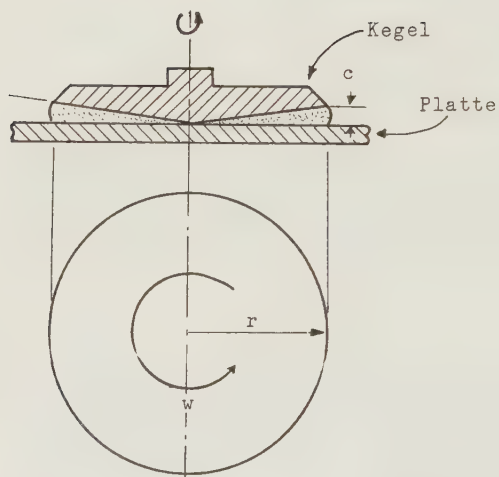


Schaubild 2:

Schematische Darstellung der Meßgeometrie
des "Deer Rheometers PDR 81"

40 μ l des Sekretes wurden abpipettiert und auf die Platte des Rotationsviskosimeters aufgebracht. Danach wurde der Kegel des Rotationsviskosimeters bis zu dem definierten Spaltabstand von 0,017 mm abgesenkt. Beim Aufleuchten einer Kontrolldiode war der korrekte Spaltabstand eingestellt. Danach wurde die Schubspannung, mit der die Probe belastet werden sollte, an dem Kompaktgerät vorgewählt (5, 6).

Nach 20 Sekunden hatte sich bei den Eichlösungen ein stationärer Zustand eingestellt, d. h. die Rotationsgeschwindigkeit blieb konstant.

Für die vorliegenden Untersuchungen wurde eine Meßzeit von 35 Sekunden gewählt.

Über die Beziehung

$$\eta = \text{Schubspannung/Winkelgeschwindigkeit} \cdot 0,00213$$

ließ sich die relative Viskosität der Sekrete bestimmen. Der Faktor 0,00213 ist eine meßgeometrie-abhängige Konstante.

Die relative Viskosität (Symbol: η') für Wasser bei 20 °C betrug unter den oben beschriebenen Meßbedingungen $\eta' = 2,2$. Abbildung 5 zeigt die Eichkurve für destilliertes Wasser und für Glycerinlösungen verschiedener Konzentrationen, die mit ansteigenden Schubspannungen belastet wurden. Sie betrugen: 2,4, 4,8, 9,7, 19,5, 39,1, 78,2 dyn cm⁻².

Ein Newton'sches Fließverhalten konnte mit dieser Meßgeometrie bei Schubspannungen von 2,4 und 4,8 dyn cm⁻² nicht mehr nachgewiesen werden (gestrichelte Kurvenabschnitte).

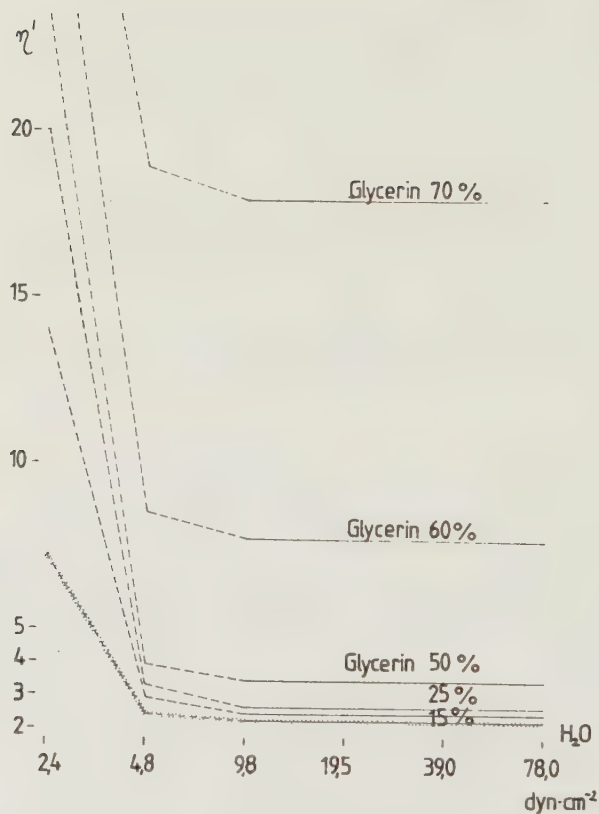


Abb. 5:

Mit den "Deer Rheometer PDR 81" erstellte Eichkurven für H_2O und Glycerinlösungen verschiedener Konzentrationen.

e. Meßmethode mit dem Haake-Viskosimeter "RV 100"

Parotis- und Submandibularissekrete wurden darüberhinaus mit dem Rotationsviskosimeter der Fa. Haake, RV 100, untersucht (Schaubild 5).

Es ist ein Rotationsviskosimeter mit rotierendem Außenzylinder (Couette-Strömung). Als Meßeinrichtung wurde das System ME 30 (Mooney-Ewart) benutzt. Bei dieser Zylindermeßeinrichtung (s. Schaubild 3) befindet sich am Meßkörper ein Endkegel. Diese Meßgeometrie entspricht der Mooney-Ewart-Anordnung, wie sie in der DIN-Norm 53018 (7) beschrieben ist. Die genaueren Angaben zur Meßgeometrie können dem Schaubild entnommen werden (Schaubild 4).

Auch bei dieser Meßmethode wird die Viskosität über den Quotienten Schubspannung/Schergefälle errechnet. In die Berechnung gehen ebenfalls meßgeometrieabhängige Konstanten ein. Im Unterschied zum Deer Rheometer wird bei diesem Rotationsviskosimeter das Schergefälle vorgewählt. Meßgröße ist die Schubspannung.

Das Füllvolumen für die Meßgeometrie beträgt 3 ml.

Nach Einbringen der Sekretmenge in den Meßbecher wurde der Meßzylinder in den Meßbecher automatisch abgesenkt. Dann wurde der Meßbogen in das Schreibgerät gelegt. Der Schreiber zur Registrierung von Fließkurven bzw. Viskositätszeitkurven, die Steuer-, Regel- und Auswertelektronik waren in einem Gerät zusammengefaßt. Es wurde das Schergefälle in % D vorgewählt. Die Empfindlichkeit zur Registrierung der Schubspannung wurde in % τ vorgewählt.

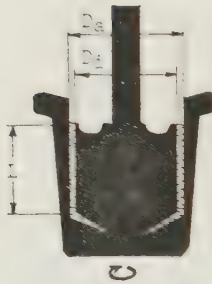


Schaubild 3

MESSEINRICHTUNG	ME 30
MESSKÖRPER	
Durchmesser D_i (mm)	27,83
Länge L (mm)	24
MESSEBECHER	
Durchmesser D_a (mm)	30
RADIENVERHÄLTNIS R_a/R_i	1,078
SPALTWEITE (mm)	1,085
FÜLLVOLUMEN (cm ³)	3
BERECHNUNGSFAKTOREN	
A (Pa/Skt)	0,27
M (s ⁻¹ /Skt)	3

Schaubild 4

Schaubilder 3 und 4:

Schematische Darstellung der Meßgeometrie des Haake-Viskosimeters "RV 100" mit technischen Daten und Angaben zum Meßbereich.

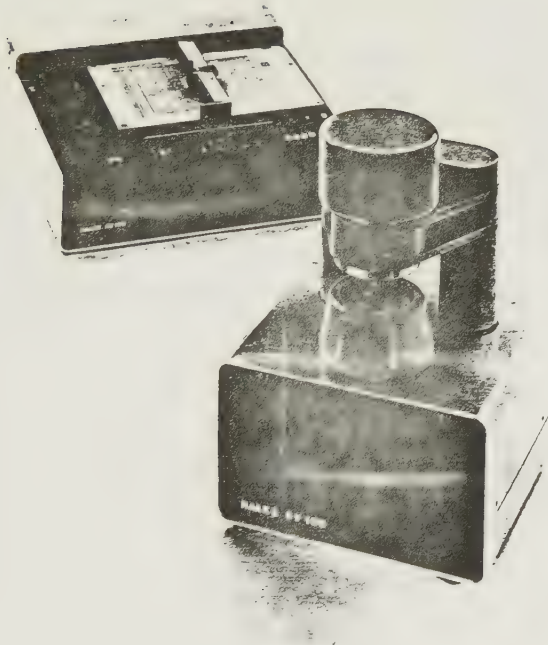


Schaubild 5:
Rotationsviskosimeter der Fa. Haake

Für die vorliegenden Untersuchungen wurde mit einem zeitlinearen Drehzahlanstieg gearbeitet. Er betrug 100 % D. Diese Einstellung entspricht einem Schergefälle von $D = 0,1 \text{ sec}^{-1}$ bis $D = 300 \text{ sec}^{-1}$. Die Sekretproben wurden dieser Scherbeanspruchung sechs Minuten ausgesetzt. Die Temperatur betrug bei allen Untersuchungen 20 °C.

Bei den ermittelten Werten handelt es sich um absolute Viskositäten, gemessen in mPas.

Die Abbildung 1 im Anhang zeigt die Fließkurven für destilliertes Wasser und Glycerinlösungen verschiedener Konzentrationen.

Außerdem wurden mit diesem Viskosimeter Hysteresekurven angefertigt.

2. Ergebnisse

A. Untersuchungsergebnisse für das Parotissekret

a. Flußratenbestimmung

Es wurden 28 Parotissekrete untersucht. Nach Einführen des Polyvinylkatheters in den Ductus parotideus wurde 90 Minuten lang Sekret abgenommen. Alle 10 Minuten wurde eine Fraktion gewonnen. Es sollte sowohl Ruhe- als auch Reizsekret untersucht werden.

Gereizt wurde durch wiederholte Gabe von Ascorbinsäuretablets. Der Reiz erfolgte von der 4. bis zur 7. Fraktion.

Ruhesekret wurde also von der 1. bis zur 3. und von der 8. und 9. Fraktion gewonnen.

Erwartungsgemäß liegt die Flußrate bei Ruhe deutlich niedriger als bei Reizung. Die niedrigsten Flußraten wurden in der 3. Fraktion gemessen.

Die durchschnittliche Ruhesekretion - gemessen in der 3. Fraktion - aller Parotiden lag bei 0,73 ml/10 min/Drüse, die durchschnittliche Reizsekretion - gemessen in der 6. Fraktion - bei 4,32 ml/10 min/Drüse.

Die Ruhesekretion betrug minimal 0,5 ml/10 min/Drüse und maximal 4,2 ml/10 min/Drüse.

Nach Reizung mit Ascorbinsäure stieg die Flußrate bei den untersuchten Personen auf maximal 9,8 ml/10 min/Drüse.

In der Abbildung 6 wird der Anstieg der Flußraten mit Beginn der Ascorbinsäurereizung graphisch dargestellt.

Es zeigt sich bei jeder Drüse ein Anstieg der Sekretion, der jedoch unterschiedlich stark ausgeprägt ist und verschieden schnell einsetzt.

Erwähnenswert ist die erhöhte Flußrate in der ersten Fraktion unmittelbar nach Sondierung des Ganges.

In der 9. Fraktion sind die minimalen Ruhewerte noch nicht erreicht.

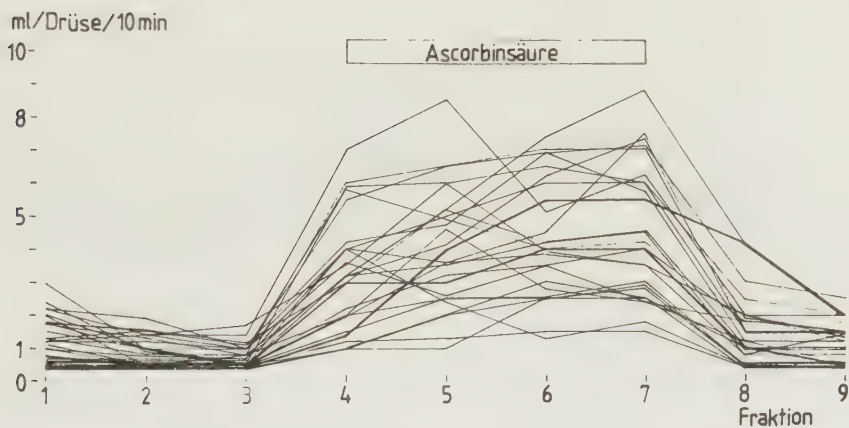


Abb. 6:

Graphische Darstellung des Verhaltens der Flußraten für das Parotissekret im Ruhe- und Reizzustand.

b. pH-Wert-Änderungen beim Parotissekret
unter Ruhe- und Reizbedingungen

Bei allen Sekreten wurde am hängenden Tropfen eine pH-Messung durchgeführt.

Die Abbildung 7 zeigt, daß es von einem durchschnittlich neutralen bis leicht sauren Ruhesekret nach Reizung zu einer Alkalisierung kommt.

Der durchschnittliche pH-Wert für die Ruhesekrete der 3. Fraktion betrug 6,0 und für die Reizsekrete der 6. Fraktion 8,1, maximaler Wert für das Reizsekret 9,0, Minimalwert 7,0.

Der Maximalwert für das Ruhesekret lag bei 8,5 und der Minimalwert bei 5,9.

In der ersten Fraktion werden im Anschluß an den mechanischen Reiz durchschnittlich höhere pH-Werte gemessen als in der 3. Fraktion.

In der 9. Fraktion liegt der pH-Wert noch höher als in der 3. Fraktion.

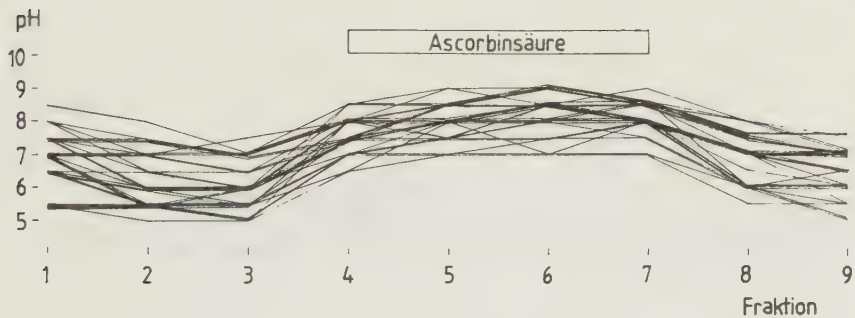


Abb. 7:

Graphische Darstellung der pH-Wert-Änderung beim Parotissekret unter Ruhe- und Reizbedingungen.

c. Kapillarviskosimetrische Untersuchungen
des Parotissekretes

Bei fast allen Sekreten der Parotis zeigte sich bei Reizung mit Ascorbinsäure ein Abfall der Viskosität, vergl. Abbildung 8.

Die durchschnittliche Viskosität aller Ruhewerte (3. Fraktion) für die Parotis bei einem Geschwindigkeitsgradienten $\bar{G} = 11,8 \text{ sec}^{-1}$ betrug 1,26 mPas, die des Reizsekretes (6. Fraktion) lag bei 1,05 mPas. Es lag also die Viskosität der meisten Reizsekrete im Bereich von Wasser ($\eta = 1,0 \text{ mPas}$ bei 20°C), während die meisten Ruhesekrete über der Viskosität des Wassers lagen.

Lediglich bei zwei von 28 Parotisdrüsen lag sowohl in Ruhe als auch bei Reiz die Viskosität bei $1,0 \text{ mPas}$. In diesen beiden Fällen ließ sich der charakteristische Viskositätsabfall beim Parotissekret nach Ascorbinsäurereizung nicht nachweisen.

In der ersten Fraktion liegt die durchschnittliche Viskosität bei $1,1 \text{ mPas}$ und damit niedriger als in der 3. Fraktion. In der 9. Fraktion waren bei allen Sekreten die anfangs gemessenen Viskositäten wieder erreicht.

Alle Parotissekrete wurden bei vier Geschwindigkeitsgradienten $\bar{G}$ ($3,2, 4,8, 7,0, 11,8 \text{ sec}^{-1}$) untersucht. Ein nicht-Newton'sches Fließverhalten zeigte sich bei keinem Sekret.

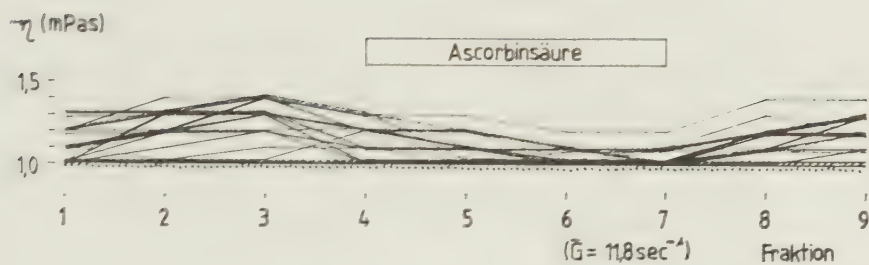


Abb. 2:

Graphische Darstellung des Viskositätsabfalls von Parotissekret nach Ascorbinsäurereiz (kapillarviskosimetrische Messungen).

d. Rotationsviskosimetrische Untersuchung der
Parotissekrete mit dem "Deer Rheometer PDR 81"

Es zeigte sich bei allen Sekreten, wenn mit einer Schubspannung von $19,5 \text{ dyn cm}^{-2}$ untersucht wurde, ein Viskositätsabfall nach Reizung mit Ascorbinsäure (s. Abbildung 9). Das Ergebnis entspricht dem kapillarviskosimetrisch gefundenen Ergebnis (vergl. Abbildung 8). Allerdings handelt es sich hier nicht um absolute, sondern um relative Viskositäten (vergl. Abschnitt III.1.d.).

Wenn das Parotissekret bei verschiedenen Schubspannungen (2,4, 4,8, 9,8, 19,5, 39,0, 78,0 dyn cm^{-2}) untersucht wird, zeigt sich im Bereich der niederen Schubspannungen ein deutliches nicht-Newton'sches Fließverhalten.

Die Abbildung 10 und die Abbildung 11 zeigen, daß auch im Bereich der höheren Schubspannungen (19,5, 39,0, 78,0 dyn cm^{-2}) die Reizsekrete eine niedrigere Viskosität aufweisen als die Ruhesekrete.

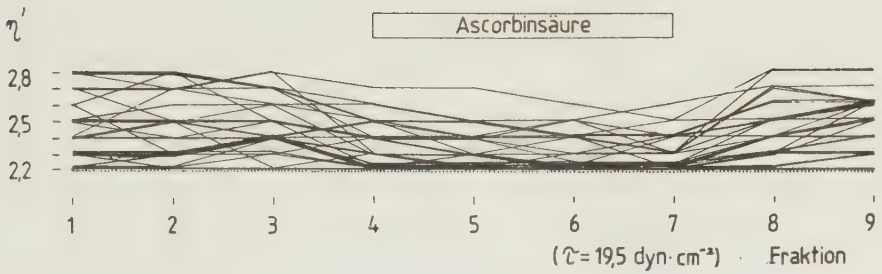


Abb. 9:

Graphische Darstellung des Viskositätsabfalls von Parotidsekret nach Ascorbinsäurereiz. Die Viskosität wurde mit dem Deer Rheometer unter einer Schubspannung von $\tau = 19,5 \text{ dyn cm}^{-2}$ ermittelt. Es handelt sich um relative Viskositäten. (Wasser liegt bei $\eta' = 2,2$).

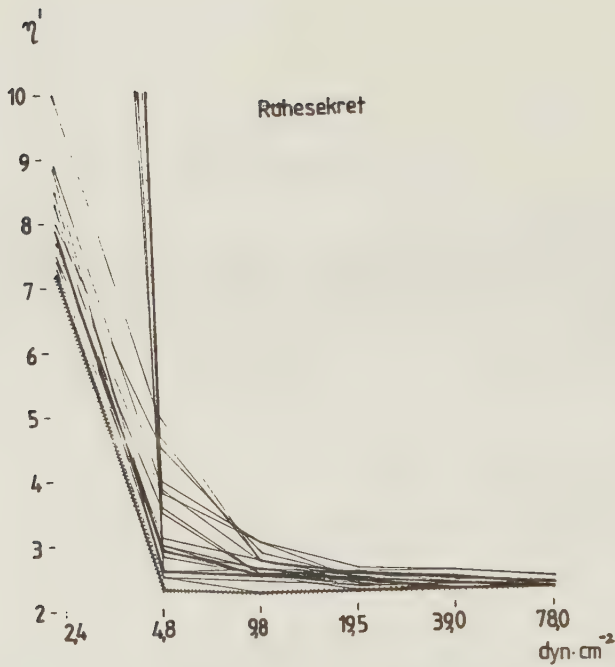


Abb. 10:

Die Viskosität des Ruhesekretes der Parotis (3. Fraktion) unter verschiedenen Schubspannungen.



Abb. 11:

Die Viskosität des Parotissekretes bei verschiedenen Schubspannungen; ein Vergleich der beiden graphischen Darstellungen (Abb. 10 und 11) zeigt einen Viskositätsabfall des Parotisreizsekretes gegenüber dem Ruhesekret.

e. Rotationsviskosimetrische Untersuchungen des Parotissekretes mit dem Haake-Viskosimeter "RV 100"

Sechs Parotisreiz- und sechs Parotisruhesekrete wurden sofort nach Entnahme mit dem Haake-Viskosimeter "RV 100" nach dem unter III.1.e. beschriebenen Verfahren untersucht. Da in vielen Fällen von den einzelnen Fraktionen nicht 3 ml Sekret gewonnen wurde - diese Menge wurde zum Füllen des Meßsystems benötigt -, mußte man die Ruhe- und die Reizfraktionen zu jeweils 3 ml zusammenfassen.

Im Unterschied zum Kapillarviskosimeter und dem "Deer Rheometer" werden mit dieser Methode nicht einzelne Ruhe- und Reizfraktionen untersucht, sondern die Viskosität wird für die Summe der Ruhe- und Reizfraktionen bestimmt.

Es konnte bei allen Messungen ein Viskositätsabfall für die Reizsekrete ermittelt werden.

Die Abbildung 12 zeigt das Viskositätsverhalten bei ansteigendem Schergefälle von 15 bis 300 sec^{-1} für Ruhe-, die Abbildung 13 für Reizsekrete.

Der Viskositätsunterschied war besonders deutlich bei niedrigen Schubspannungen. Die durchschnittliche Viskosität für das Ruhesekret bei 30 sec^{-1} betrug $\eta = 1,5 \text{ mPas}$, für das Reizsekret $\eta = 1,27 \text{ mPas}$.

Mit zunehmendem Schergefälle fällt die Viskosität ab, aber selbst bei einem Schergefälle bei 300 sec^{-1} zeigt sich noch der Viskositätsunterschied zwischen Ruhe- und Reizsekret.

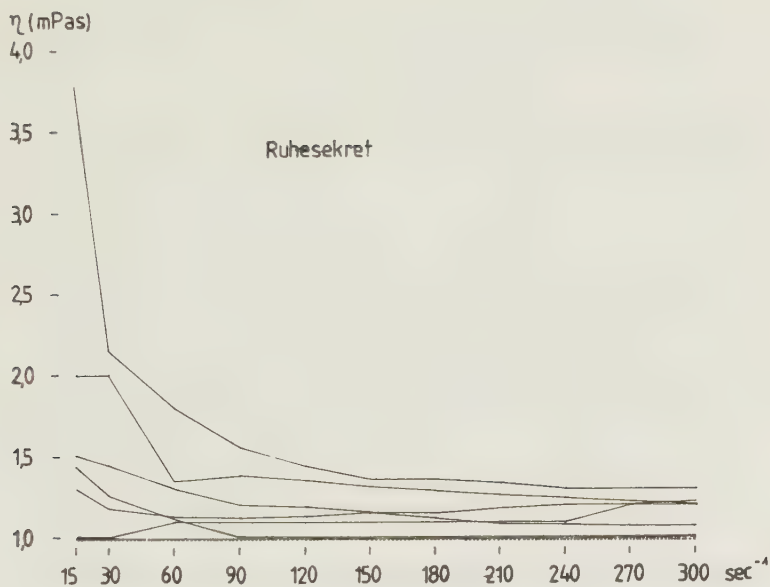


Abb. 12:

6 Parotisruhesekrete wurden mit dem Haake-Viskosimeter "RV 100" 6 Minuten lang bei ansteigendem Schergefälle untersucht.

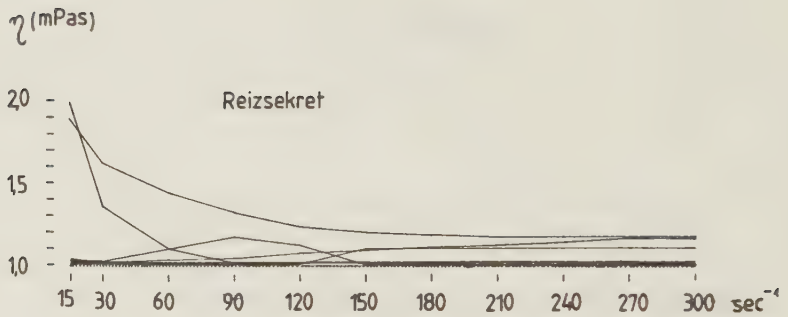


Abb. 13:

Die Viskosität von 6 Parotisreizsekreten wurde ermittelt. Deutlicher Viskositätsabfall des Parotisreizsekretes gegenüber dem Ruhesekret.

Über fast das gesamte Schergefälle beträgt die Viskosität bei drei von sechs untersuchten Reizsekreten 1,0 mPas. Es bestätigt sich auch mit dieser Untersuchungsmethode, daß die Viskosität der Parotisreizekrete fast der des Wassers entspricht.

Mit dem Haake-Viskosimeter läßt sich das nicht-Newton'sche Fließverhalten besonders gut zur Darstellung bringen.

In Abbildung 12 zeigen fünf Parotissekrete ein deutliches nicht-Newton'sches Fließverhalten, wie es für eiweißhaltige strukturviskose Flüssigkeiten zu erwarten ist (7, 18).

Besonders gut kommt dieses in den unteren Schubspannungsbereichen zur Darstellung. Bei den Reizsekreten geht das ausgeprägte nicht-Newton'sche Fließverhalten weitgehend verloren (Abbildung 13).

Mit diesem Viskosimeter wurden auch Hysteresekurven von Ruhe- und Reizsekreten der Parotis erstellt (Abbildungen 2 und 3 im Anhang).

Es ließ sich ein thixotropes Verhalten nachweisen. Bei den Parotissekreten liegen Gel- und Solkurve nahe zusammen. In vielen Fällen lassen sich für Parotissekrete keine Hystereseeigenschaften nachweisen, immer dann, wenn ein nahezu Newton'sches Fließverhalten beim Ruhe- und Reizsekret gefunden wurde (Abbildung 4 im Anhang).

f. Viskositätsänderung nach unterschiedlicher Lagerung
beim Parotissekret

Nach Lagerung der Sekrete bei +20 °, bei +4 ° und
bei -16 °C traten regelmäßig weißliche Ausfällungen
auf.

Der wäßrige Überstand wurde mit allen drei Meßmetho-
den untersucht und zeigte eine Viskosität, die der
des Wassers entsprach.

Der Viskositätsabfall war umso deutlicher, je län-
ger die Sekretprobe gelagert war.

- g. Übersichtsdarstellung der Änderung von Flußrate, pH-Wert und Viskosität nach Ascorbinsäurereiz beim Parotissekret

Abbildung 14 zeigt die Änderung von Flußrate, pH-Wert und Viskosität der Parotissekrete.

Es wurden die Mittelwerte der einzelnen Fraktionen sowie der minimale und maximale Wert aufgetragen. Die Werte sind im einzelnen den vorhergehenden Abschnitten zu entnehmen.

Es zeigt sich beim Parotissekret nach Reizung ein Anstieg von Flußrate und pH-Wert, während die Viskosität abfällt (kapillarviskosimetrische Messung).

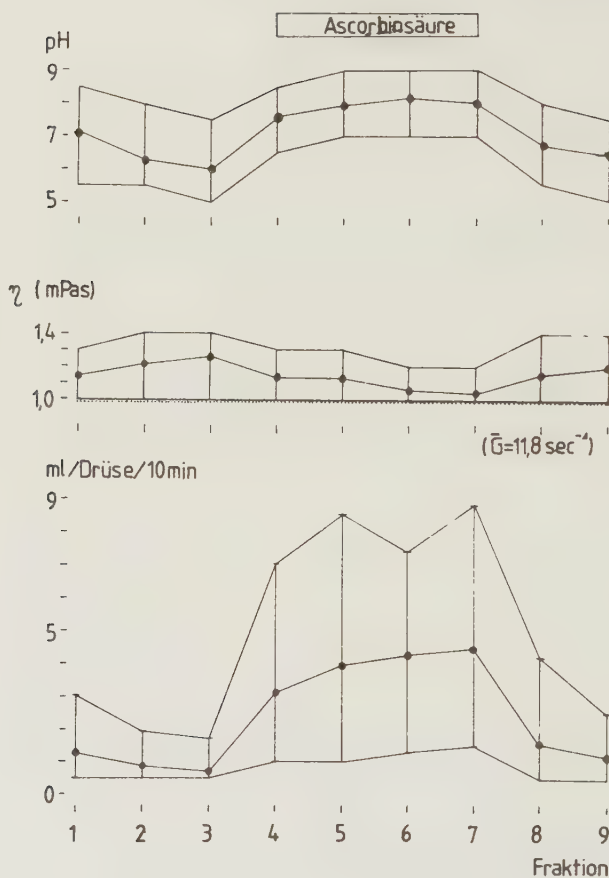


Abb. 14:

Änderungen von pH-Wert, Viskosität und Flußrate des Parotissekretes nach Reizung mit Ascorbinsäure; dabei sind die Mittelwerte der einzelnen Fraktionen sowie der minimale und maximale Wert aufgetragen.

B. Untersuchungsergebnisse für das
Submandibularissekret

a. Flußratenbestimmungen

Es wurden 23 Submandibularissekrete untersucht.

Die Abnahmetechnik und die Aufteilung in Fraktionen entsprach dem Vorgehen, wie es bei der Untersuchung der Parotissekrete beschrieben wurde.

Bei allen Drüsen ließ sich nach Ascorbinsäurereizung eine ausgeprägte Zunahme der Flußraten feststellen. Unmittelbar nach Sondierung des Ganges wurden durchschnittlich höhere Flußraten gefunden. Sie betrugen in der ersten Fraktion 2,0 ml/10 min/Drüse und in der 3. Fraktion 1,1 ml/10 min/Drüse.

Die durchschnittliche Reizsekretion, gemessen in der 6. Fraktion, lag bei 5,3 ml/10 min/Drüse. Die Ruhesekretion betrug minimal 0,5 ml/10 min/Drüse und maximal 4,4 ml/10 min/Drüse. Die Reizsekretion wurde minimal bei 1,8 ml/10 min/Drüse und maximal bei 12,0 ml/10 min/Drüse gemessen.

Die graphische Darstellung der Flußraten zeigt Abbildung 15.

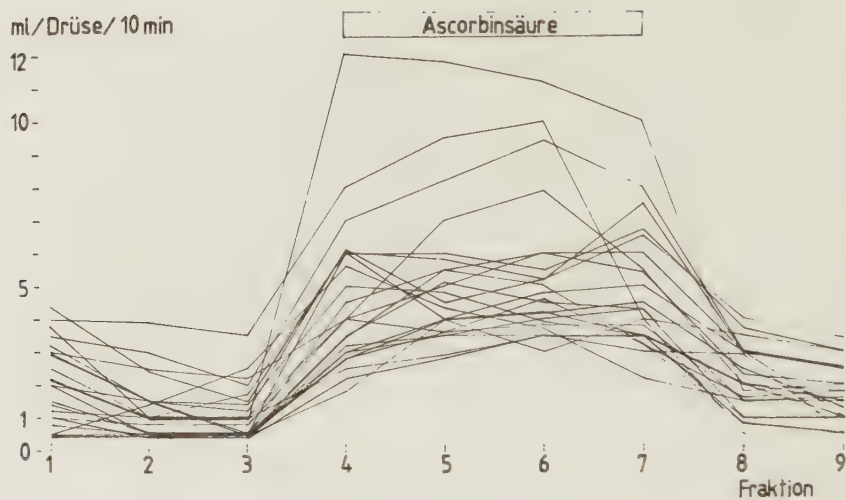


Abb. 15:

Graphische Darstellung des Verhaltens der Flußraten für das Submandibularissekret unter Ruhe- und Reizbedingungen.

b. pH-Wert des Submandibularissekretes
unter Ruhe- und Reizbedingungen

Aus der Abbildung 16 wird deutlich, daß nach Reizung mit Ascorbinsäure eine Alkalisierung aller Submandibularissekrete eintritt. Der pH-Wert in der 6. Fraktion beträgt durchschnittlich 8,6 (Minimalwert 7, Maximalwert 10).

Die Ruhesekrete haben einen geringgradig sauren pH-Wert. Er beträgt in der 3. Fraktion durchschnittlich 5,8 (Minimalwert 5, Maximalwert 7,5).

Unmittelbar nach Sondierung - 1. Fraktion - wird ein durchschnittlicher pH-Wert von 6,3 gemessen (Minimalwert 5, Maximalwert 8,5). Bis zur 3. Fraktion kommt es zu einem leichten, jedoch kontinuierlichen Abfall des pH-Wertes bis auf durchschnittlich 5,8.

Das Ruhesekret in der 9. Fraktion hat einen durchschnittlichen pH-Wert von 6,1 (Minimalwert 5, Maximalwert 7).

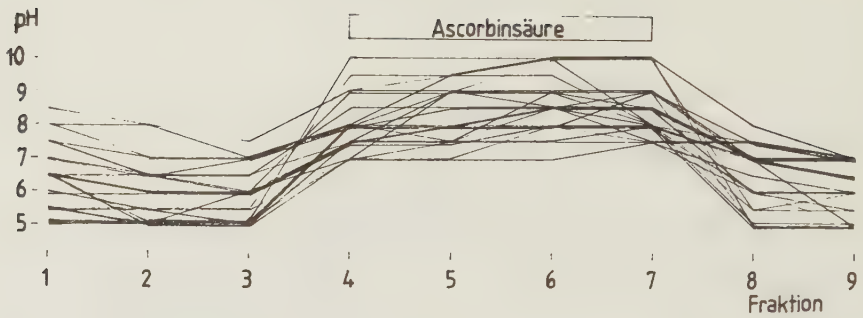


Abb. 16:

Graphische Darstellung der pH-Wert-Änderung beim Submandibularissekret unter Ruhe- und Reizbedingungen.

c. Kapillarviskosimetrische Untersuchung
des Submandibularissekretes

Bei allen Submandibularissekreten kam es nach Reizung mit Ascorbinsäure zu einem - wenn auch oft nur geringen - Viskositätsanstieg.

Die durchschnittliche Viskosität aller Ruhewerte der 3. Fraktion betrug bei einem Geschwindigkeitsgradienten $\bar{G} = 11,8 \text{ sec}^{-1}$ $\eta = 2,4 \text{ mPas}$, die des Reizsekretes lag bei $\eta = 5,2 \text{ mPas}$. Die durchschnittliche Viskosität des Reizsekretes lag also doppelt so hoch wie die des Ruhesekretes.

In der 1. Fraktion lag die durchschnittliche Viskosität bei $\eta = 3,5 \text{ mPas}$ und damit um $1,1 \text{ mPas}$ höher im Vergleich mit der 3. Fraktion. In der 9. Fraktion wurde eine durchschnittliche Viskosität von $2,5 \text{ mPas}$ gemessen.

Alle Submandibularissekrete wurden bei vier Geschwindigkeitsgradienten untersucht. Ein nicht-Newton'sches Fließverhalten war nur in wenigen Fällen nachweisbar.

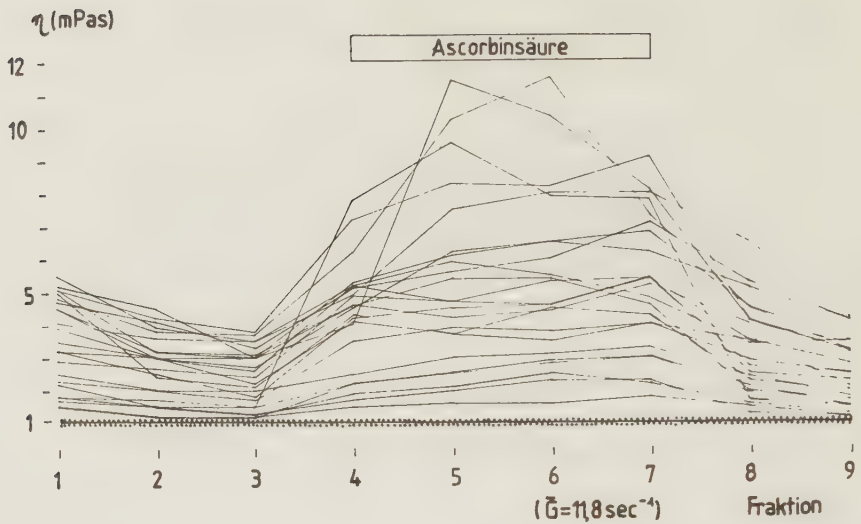


Abb. 17:

Darstellung des Viskositätsanstiegs von Submandibularis-sekret nach Ascorbinsäurereiz (mit dem Kapillarviskosimeter ermittelte Viskositätswerte).

d. Rotationsviskosimetrische Untersuchung
der Submandibularissekrete mit dem
"Deer Rheometer PDR 81"

Es zeigte sich bei allen Sekreten ein Viskositätsanstieg nach Reizung mit Ascorbinsäure.

Auf der Abbildung 18 sind die einzelnen Fraktionen der 23 untersuchten Drüsen graphisch dargestellt. Die relativen Viskositäten $= \eta'$ wurden hier bei einer Schubspannung von $19,5 \text{ dyn cm}^{-2}$ ermittelt. Das Ergebnis entspricht dem kapillarviskosimetrisch gefundenen Ergebnis (vergl. Abbildung 17).

Wie schon bei dem Parotissekret beschrieben, wurde auch das Submandibularissekret bei verschiedenen Schubspannungen untersucht. Abbildung 19 zeigt die relativen Viskositäten bei zunehmenden Schubspannungen für die 3. Ruhefraktion. (Die untere, besonders gekennzeichnete Kurve zeigt die Werte für Wasser).

Über alle Schubspannungsbereiche wird auf dieser Abbildung ein nicht-Newton'sches Fließverhalten gefunden.

Abbildung 20 zeigt die Viskosität bei verschiedenen Schubspannungen für sämtliche Reizsekrete der 6. Fraktion. Die Viskosität der Reizsekrete ist im Vergleich mit den Ruhesekreteten deutlich angestiegen.

Der Viskositätsanstieg zeigt sich auch im Bereich der höheren Schubspannungen.

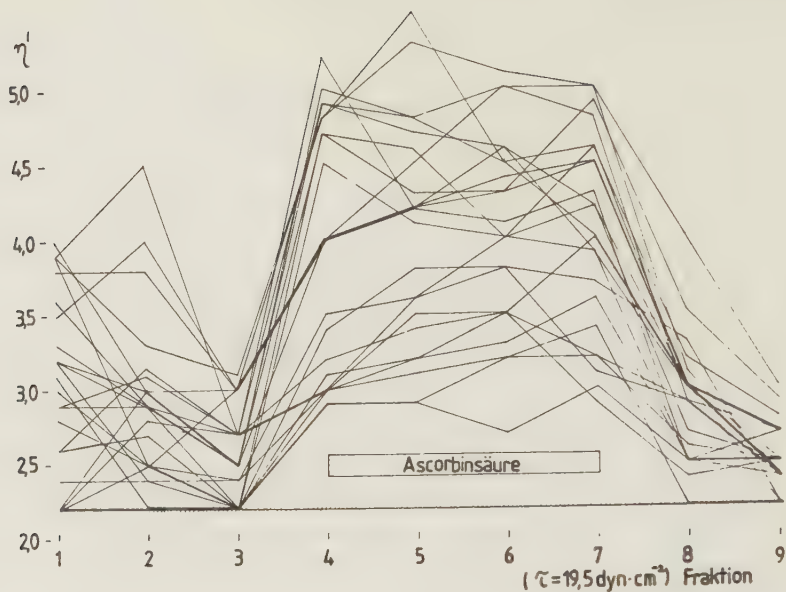


Abb. 18:

Viskositätsanstieg von Submandibularissekret nach Ascorbinsäurereiz. Die Viskositäten wurden mit dem Deer Rheometer bei einer Schubspannung von $\tau = 19,5 \text{ dyn cm}^{-2}$ gemessen. Es handelt sich um relative Viskositätswerte (Wasser - gepunktete Linie - liegt bei $\eta' = 2,2$)

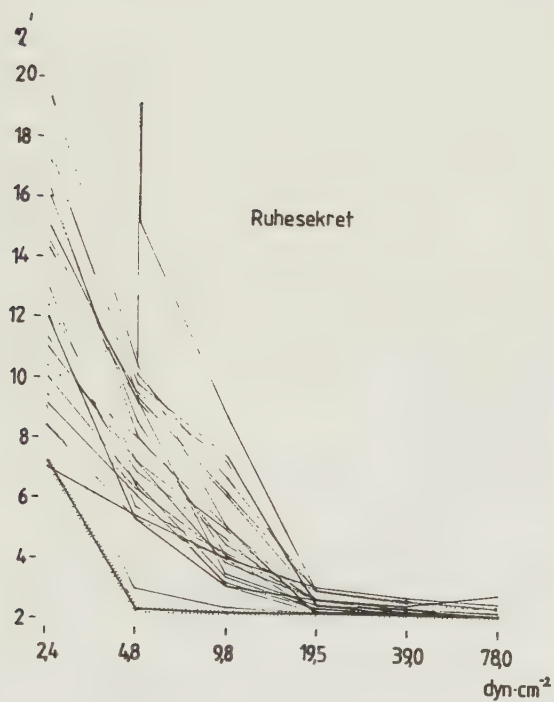


Abb. 19:

Viskosität des Ruhesekretes der Submandibularis (3. Fraktion) bei verschiedenen Schubspannungen



Abb. 20:

Die Viskosität des Submandibularisreizsekretes wurde ebenso bei unterschiedlichen Schubspannungen ermittelt.

Ein Vergleich zwischen Abb. 19 und 20 zeigt einen deutlichen Anstieg der Viskosität des Submandibularisreizsekretes

e. Rotationsviskosimetrische Untersuchung
des Submandibularissekretes mit dem
Haake-Viskosimeter "RV 100"

Sekrete von zehn verschiedenen Submandibularisdrüsen wurden rotationsviskosimetrisch mit dem Haake-Viskosimeter "RV 100" nach dem unter III.1.e. beschriebenen Verfahren untersucht. In den Fällen, in denen weniger als 3 ml pro Fraktion gewonnen werden konnten, wurden die Ruhe- bzw. Reizfraktionen zu 3 ml zusammengefaßt.

Im Unterschied zum Kapillarviskosimeter und dem "Deer Rheometer" werden mit dieser Methode nur in wenigen Fällen einzelne Ruhe- und Reizfraktionen untersucht.

Es konnte bei allen Drüsen ein Viskositätsanstieg für die Submandibularisreizsekrete ermittelt werden.

In Abbildung 21 wird das Viskositätsverhalten bei ansteigendem Schergefälle für die Ruhesekrete und in Abbildung 22 für die Reizsekrete aufgezeigt.

Der Viskositätsunterschied war besonders deutlich bei niedrigen Schubspannungen, jedoch zeigt sich auch bei zunehmendem Schergefälle immer noch der Viskositätsanstieg des Reizsekretes.

Die durchschnittliche Viskosität für das Ruhesekret bei 15 sec^{-1} betrug 3,1 mPas, für das Reizsekret 6,6 mPas.

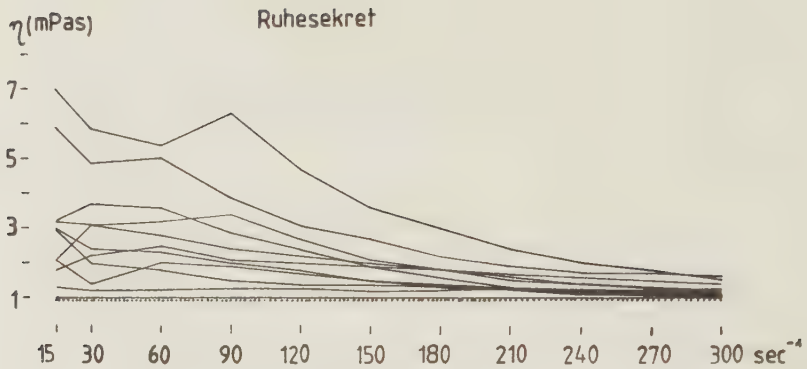


Abb. 21:

Viskosität von 10 Submandibularisruhesekreten, die mit dem Haake-Viskosimeter "RV 100" 6 Minuten lang bei ansteigendem Schergefälle untersucht wurden.

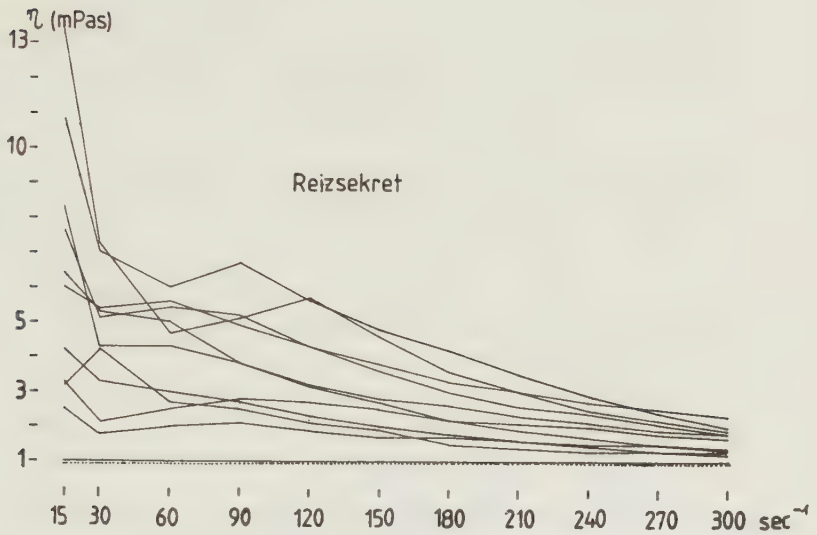


Abb. 22:

Viskosität von 10 Submandibularisreizsekreten (Meßbedingungen wie bei Abb. 21).

Deutlicher Viskositätsanstieg des Reizsekretes über das gesamte Schergefälle.

Wie für das Parotissekret, so wurden auch für die Submandibularissekrete Hysteresekurven geschrieben. Bei allen Submandibularissekreten wurden ausgeprägte thixotrope und strukturviskose Eigenschaften nachgewiesen; nie fand sich ein Newton'sches Fließverhalten.

Abbildung 5 im Anhang stellt diese Fließeigenschaften dar. Die Fließkurve für das Reizsekret liegt über der für das Ruhesekret.

Sowohl beim Ruhe- als auch beim Reizsekret liegen Gel- und Solkurve weit auseinander.

Bei 180 sec^{-1} beträgt die Viskosität des Reizsekretes auf der Gelkurve $4,2 \text{ mPas}$ und auf der Solkurve $2,5 \text{ mPas}$.

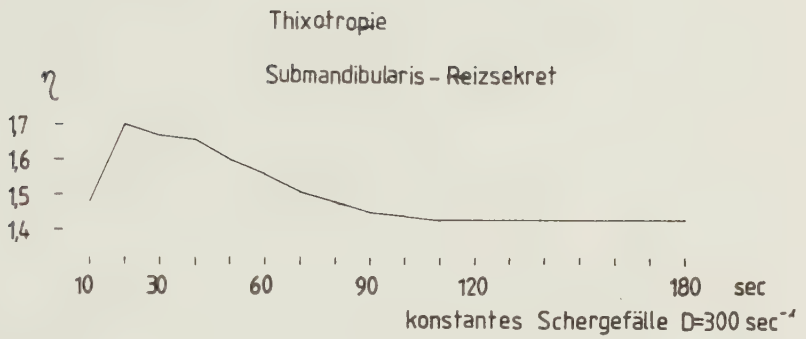


Abb. 23:

Thixotropes Fließverhalten von Submandibularisreizsekret

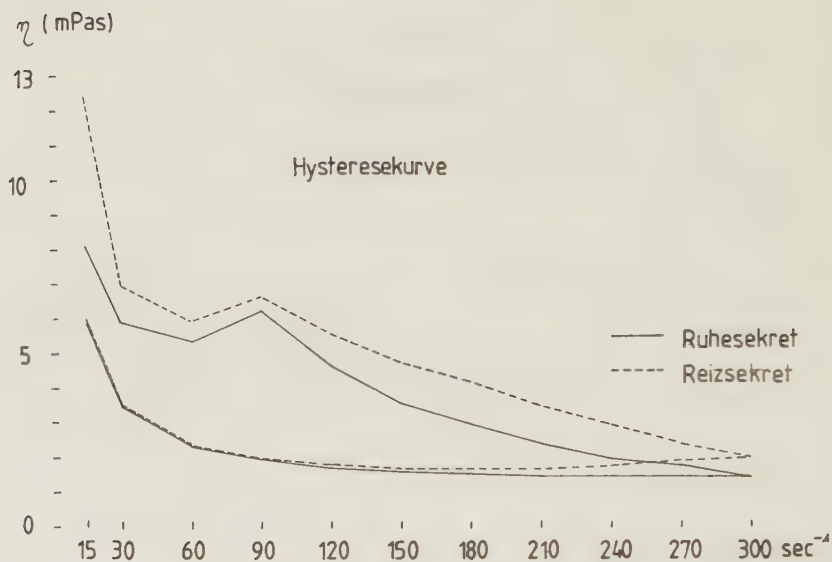


Abb. 24:

Diese Hysteresekurve entspricht der in Abb. 5 (Anhang) gezeigten. Es wurde jedoch zur Verdeutlichung der Verhältnisse die Viskosität gegen das Schergefälle aufgetragen.

f. Änderung der Viskosität des Submandibularissekretes nach unterschiedlicher Lagerung

Submandibularissekrete wurden 24 Stunden bei -16, bei +4 und bei +20 °C gelagert. Danach wurde eine Viskositätsbestimmung durchgeführt.

Alle Proben zeigten einen deutlichen Viskositätsabfall. Er war bei den eingefrorenen Proben am ausgeprägtesten (vergl. Abbildung 25).

Nach Lagerung der Sekrete, wenn Eiweiß ausgefällt ist, resultieren zum Teil falsche Meßergebnisse. Während das Kapillarviskosimeter "Molekulex" speziell zur Messung inhomogener Flüssigkeiten geeignet ist, wird die Meßgeometrie der beiden Rotationsviskosimeter durch die ausgefällten Stoffe gestört. Es kommt zu einer Unterbrechung der laminaren Strömung in dem Spalt zwischen Zylinder und Meßbecher bzw. zwischen Kegel und Platte durch die höher viskosen Proteinausfällungen (12).

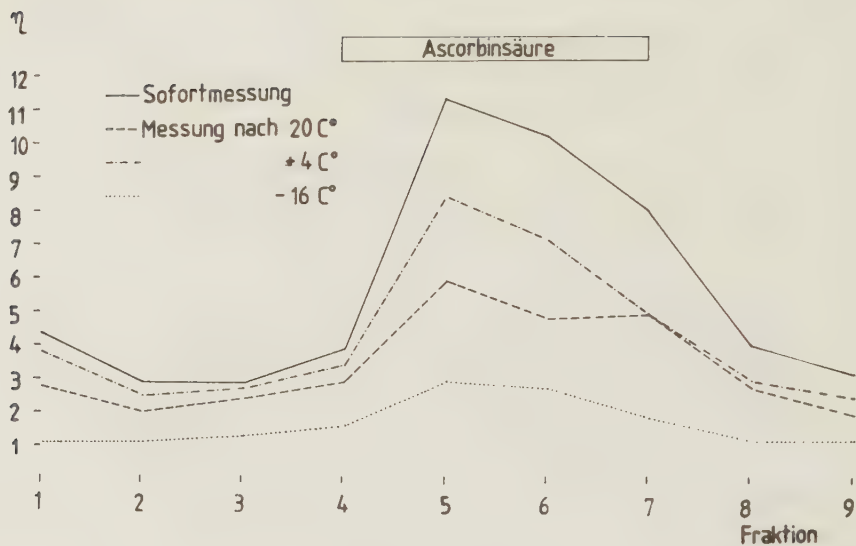


Abb. 25:

Viskositätsänderung von Submandibularisreiz- und -ruhesekret nach Lagerung bei unterschiedlicher Temperatur (kapillarviskosimetrische Messungen).

- g. Übersichtsdarstellung der Änderung von Flußrate, pH-Wert und Viskosität nach Ascorbinsäurereiz beim Submandibularissekret

Abbildung 26 zeigt die Änderung von Flußrate, pH-Wert und Viskosität der Submandibularissekrete.

Es wurden die Mittelwerte der einzelnen Fraktionen sowie der minimale und maximale Wert aufgetragen. Die Werte sind im einzelnen den vorhergehenden Abschnitten zu entnehmen.

Es zeigt sich beim Submandibularissekret nach Reizung ein Anstieg der Flußrate und des pH-Wertes sowie der Viskosität (kapillarviskosimetrische Messung).

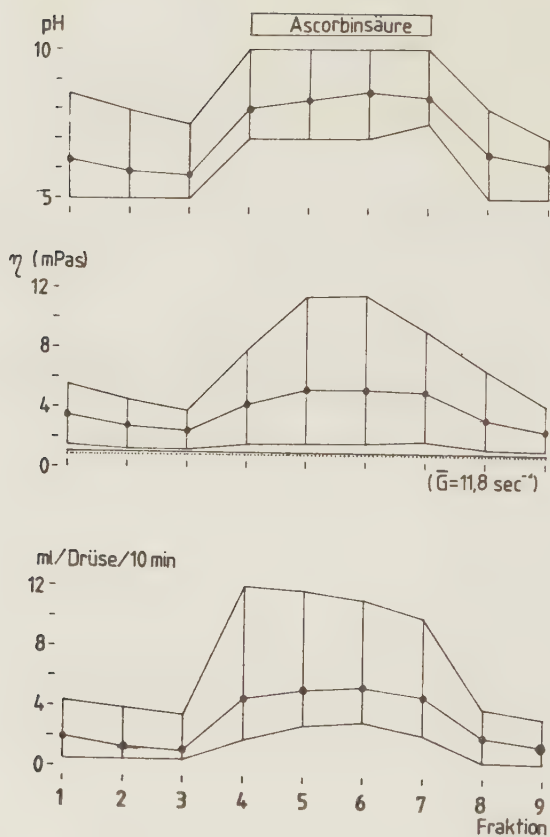


Abb. 26:

Änderung von pH-Wert, Viskosität und Flußrate des Submandibularissekretes nach Reizung mit Ascorbinsäure; dabei sind die Mittelwerte der einzelnen Fraktionen sowie der maximale und der minimale Wert aufgetragen.

IV.

D I S K U S S I O N

Bisher wurden lediglich am Gesamtspeichel viskosimetrische Untersuchungen durchgeführt (8, 19). In dieser Arbeit wurde nun reines Parotis- und Submandibularissekret durch Sondierung der Drüsenausführungsgänge gewonnen und viskosimetrisch untersucht. Außerdem sollte die Viskositätsänderung der beiden Sekrete bei gustatorischem Reiz mit Ascorbinsäure ermittelt werden.

Die Viskositätsmessungen wurden mit zwei verschiedenen Methoden - der kapillar- und der rotationsviskosimetrischen - vorgenommen, und die Meßergebnisse von drei verschiedenen Viskosimetern - Kapillarviskosimeter "Molekulex", "Deer Rheometer" und Haake-Viskosimeter "RV 100" - wurden gegenübergestellt.

1. Unterschiede des Viskositätsverhaltens
von Parotis- und Submandibularissekret

Unabhängig von der angewandten Meßmethode läßt sich feststellen, daß die Viskosität von Parotis- und Submandibularissekret bei Reizung mit Ascorbinsäure deutliche Unterschiede aufweist.

Während die Viskosität des Parotissekrets abnimmt und sich nach gustatorischer Reizung kaum von derjenigen des Wassers unterscheidet, steigt die Viskosität des Submandibularissekretes durchschnittlich um das Doppelte des Ruhewertes an.

Ein weiterer Unterschied in der Viskosität der beiden Sekrete besteht darin, daß die Viskositätsunterschiede der Parotissekrete sehr gering sind. Die Schwankungen zwischen Ruhe und Reizsekret liegen zwischen 1,0 und 1,4 mPas, wenn mit dem Kapillarviskosimeter bei einem Geschwindigkeitsgradienten $\bar{G} = 11,8 \text{ sec}^{-1}$ gemessen wird.

Bei dem Submandibularissekret werden bei gleichen Meßbedingungen sehr große Viskositätsschwankungen zwischen den Ruhe- und Reizfraktionen gemessen, und die Variabilität der Viskosität von einzelnen Drüsen ist ebenfalls groß.

Die Viskositätsänderungen liegen zwischen 1,2 und 12,0 mPas im Ruhe- und Reizsekret.

2. Vergleich von Flußrate, pH-Wert und Viskosität von Parotis- und Submandibularissekret

Werden zur Charakterisierung der beiden Drüsensekrete neben der Viskosität auch die Flußrate und der pH-Wert herangezogen, so ergibt sich folgendes:

- a) Nach Reizung mit Ascorbinsäure zeigt die Parotissekretion eine deutlich gesteigerte Zunahme der Flußrate. Durchschnittlich beträgt die Steigerung das Drei- bis Siebenfache gegenüber dem Ruhewert.

Der pH-Wert des Parotissekretes steigt von neutralen bis leicht sauren Ausgangswerten bei Reizung in den alkalischen Bereich mit durchschnittlich pH 8.

- b) Das Submandibularissekret zeigt nach Reizung ebenfalls eine deutliche Flußratensteigerung. Der Ausgangs-pH-Wert des Submandibularissekretes liegt im leicht sauren Bereich mit durchschnittlich pH 6 und steigt bei der Reizung über pH 8 an.

- c) Mit Hilfe der drei Parameter Flußrate, pH-Wert und Viskosität lassen sich Parotis- und Submandibularissekret so charakterisieren:

Flußrate und pH-Wert steigen nach Ascorbinsäurereiz. Die Viskosität des Parotissekretes fällt nach Reizung ab, wohingegen das Reizsekret der Submandibularis einen deutlichen Viskositätsanstieg zeigt.

- d) Es zeigte sich durchgehend, daß in der ersten Fraktion höhere Flußraten gefunden wurden. Der pH-Wert der ersten Fraktion von Parotis- und Submandibularissekret näherte sich dem des Reizsekretes. Die Viskosität der ersten Fraktion war bei der Parotis durchschnittlich niedriger als die der anderen Ruhewerte, bei der Submandibularis lag sie dagegen höher als die durchschnittlichen Ruhewerte.

Die erste Fraktion kann daher nicht im eigentlichen Sinn als Ruhefraktion betrachtet werden.

Der mechanische Reiz beeinflußt alle drei untersuchten Parameter (10, 11).

3. Vergleich der Hystereseeigenschaften
von Parotis- und Submandibularissekret

Einen weiteren charakteristischen Unterschied der beiden Sekrete zeigen die mit dem Haake-Viskosimeter "RV 100" gezeichneten Hysteresekurven.

Während sich beim Parotissekret in manchen Fällen keine Hystereseeigenschaften nachweisen lassen, in anderen Fällen Sol- und Gelkurve des Sekretes nahe zusammen liegen, lassen sich bei allen Submandibularissekreten ausgeprägte Hystereseeigenschaften aufzeigen.

4. Interpretation der Ergebnisse

Aus diesen Ergebnissen lassen sich möglicherweise diese Schlußfolgerungen ziehen:

- a) Parotis- und Submandibularissekret unterscheiden sich hinsichtlich der viskositätswirksamen Substanzen, dies sind vor allem die organischen Bestandteile des Speichels, erheblich.
- b) Nach Ascorbinsäurereiz nimmt die Viskosität des Parotissekretes ab, d. h. das Reizsekret enthält weniger organische Bestandteile als das Ruhesekret (10).
- c) Der Prozentsatz der viskositätswirksamen Substanzen nimmt im Submandibularissekret bei Reizung zu.
- d) Die Viskosität des Gesamtspeichels liegt nach Ascorbinsäurereiz höher als im Ruhezustand.

V.

Z U S A M M E N F A S S U N G

Es wurden die Veränderungen an 28 Parotis- und 23 Submandibularissekreten nach Reizung mit Ascorbinsäure untersucht. .

Flußrate und pH-Wert stiegen bei beiden Sekreten nach Ascorbinsäurereiz deutlich an.

Während das Parotissekret nach Reizung einen Viskositätsabfall zeigte, ließ sich bei allen Submandibularissekreten ein Viskositätsanstieg nachweisen. Dieses Ergebnis ließ sich mit verschiedenen Meßmethoden bestätigen.

VI.

A N H A N G

Legenden zu den folgenden Fließkurven, die mit dem Haake-Viskosimeter "RV 100" geschrieben sind:

Abb. 1:

Eichkurven für H_2O und Glycerinlösungen verschiedener Konzentration, die mit dem Haake-Viskosimeter "RV 100" erstellt wurden.

Abb. 2:

Hysteresekurve von Parotisruhesekret. Gel- und Solkurve zwischen 15 und 60 sec^{-1} .

Abb. 3:

Hysteresekurve von Parotisreizsekret. Die Viskositätsabnahme ist über das gesamte Schergefälle nachweisbar. Gel- und Solkurve zwischen 15 und 120 sec^{-1} .

Abb. 4:

Newton'sches Fließverhalten für Parotisruhe- und -reizsekret. Viskositätsabfall des Reizsekretes über das gesamte Schergefälle.

Abb. 5:

Hysteresekurve von Submandibularissekret für eine Reiz- und eine Ruhefraktion. Bei beiden Sekreten liegen die Gel- und Solkurve besonders im unteren Schergefälle weit auseinander.

Viskositätszunahme des Reizsekretes gegenüber dem Ruhesekret über das gesamte Schergefälle.

ROTOVISCO

Flusskurve
Flow curve

HAAKE

H₂O bei 20 °C $\frac{1}{100}$

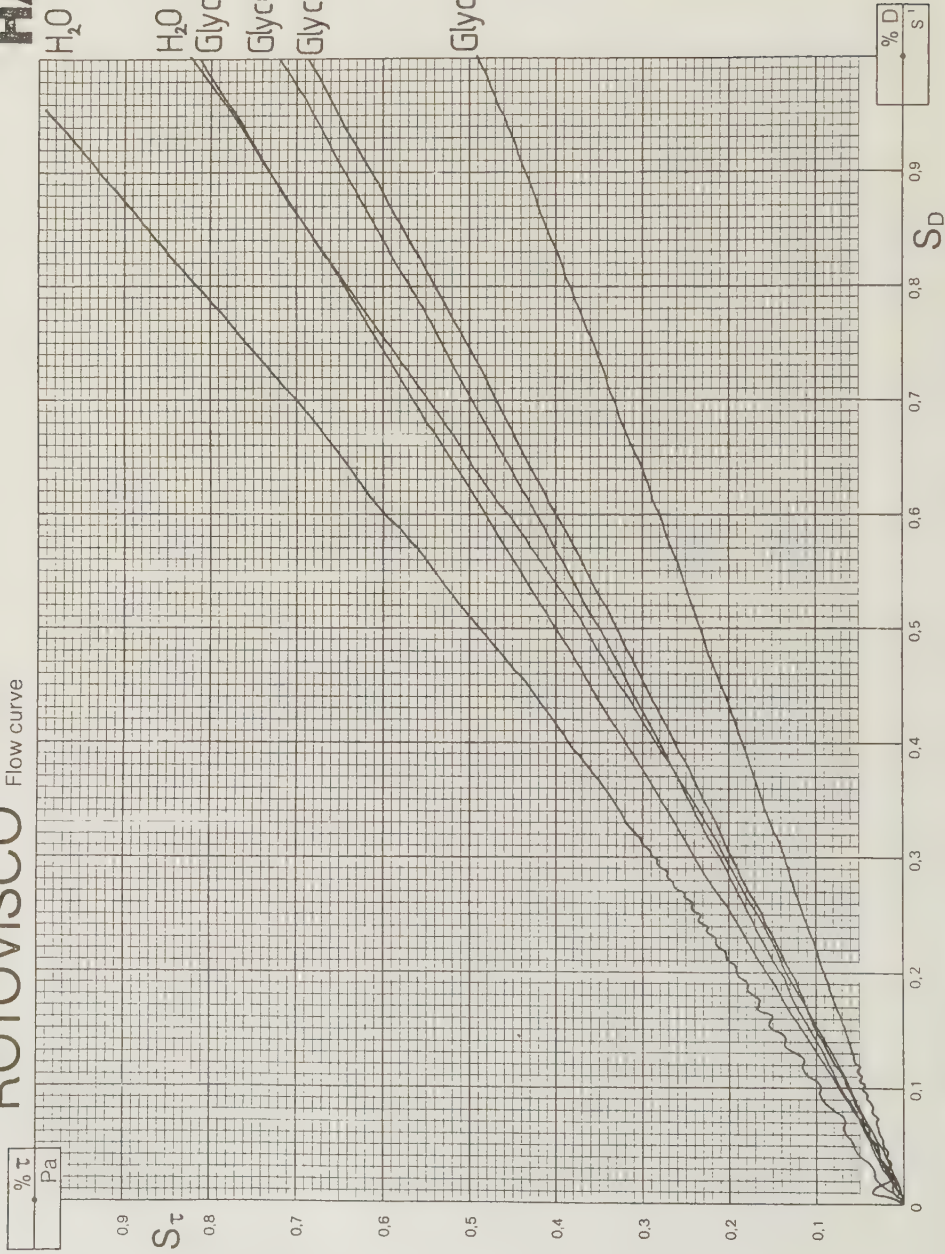
H₂O bei 37 °C $\frac{1}{100}$

Glycerin 85% $\frac{100}{100}$

Glycerin 50% $\frac{6}{100}$

Glycerin 25% $\frac{3}{100}$

Glycerin 15% $\frac{3}{100}$



2 % τ
Pa

$$\tau = A \cdot \% \tau \cdot S_{\tau} [\text{Pa}]$$

$$D = M \cdot \% D \cdot S_D [\text{s}^{-1}]$$

$$\eta = \tau / D [\text{Pa} \cdot \text{s}]$$

S_{τ}

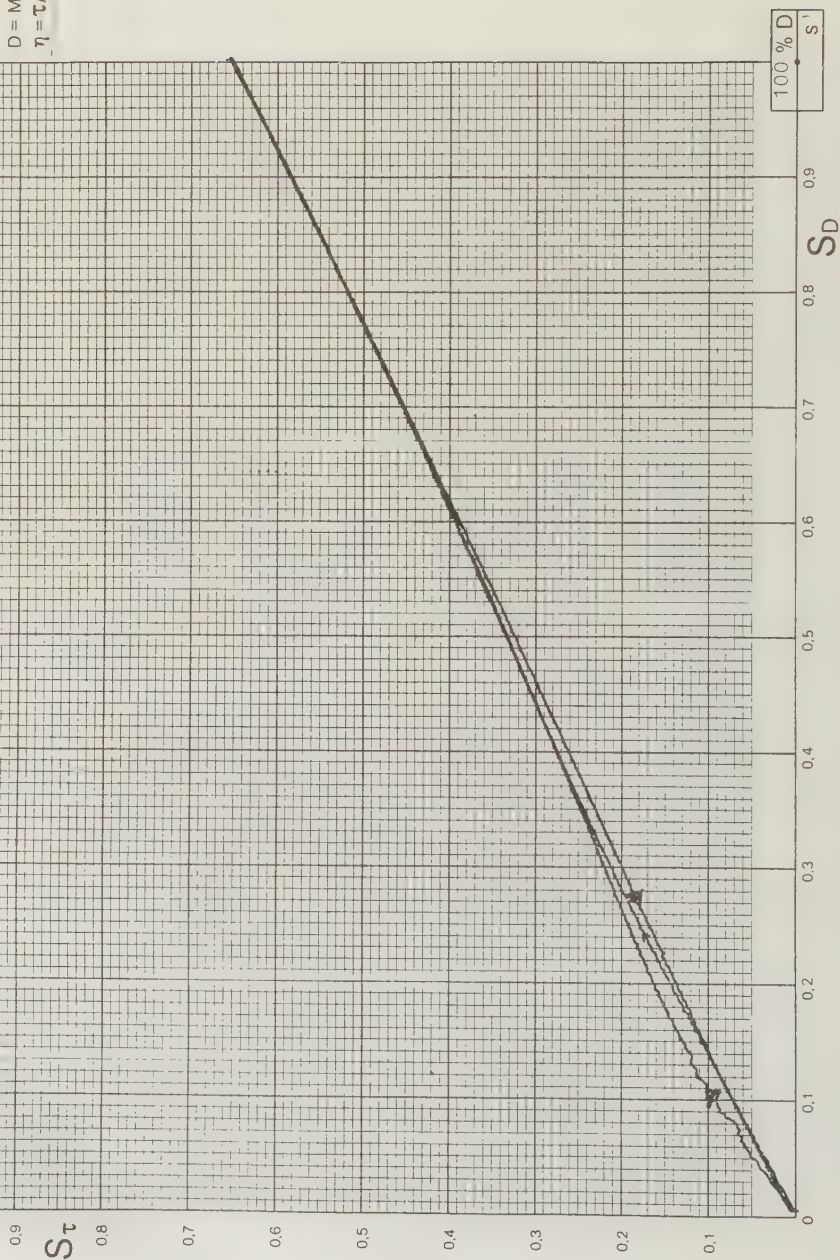
S_D

100 % D
s⁻¹

Abb. 2

2 % τ
Pa

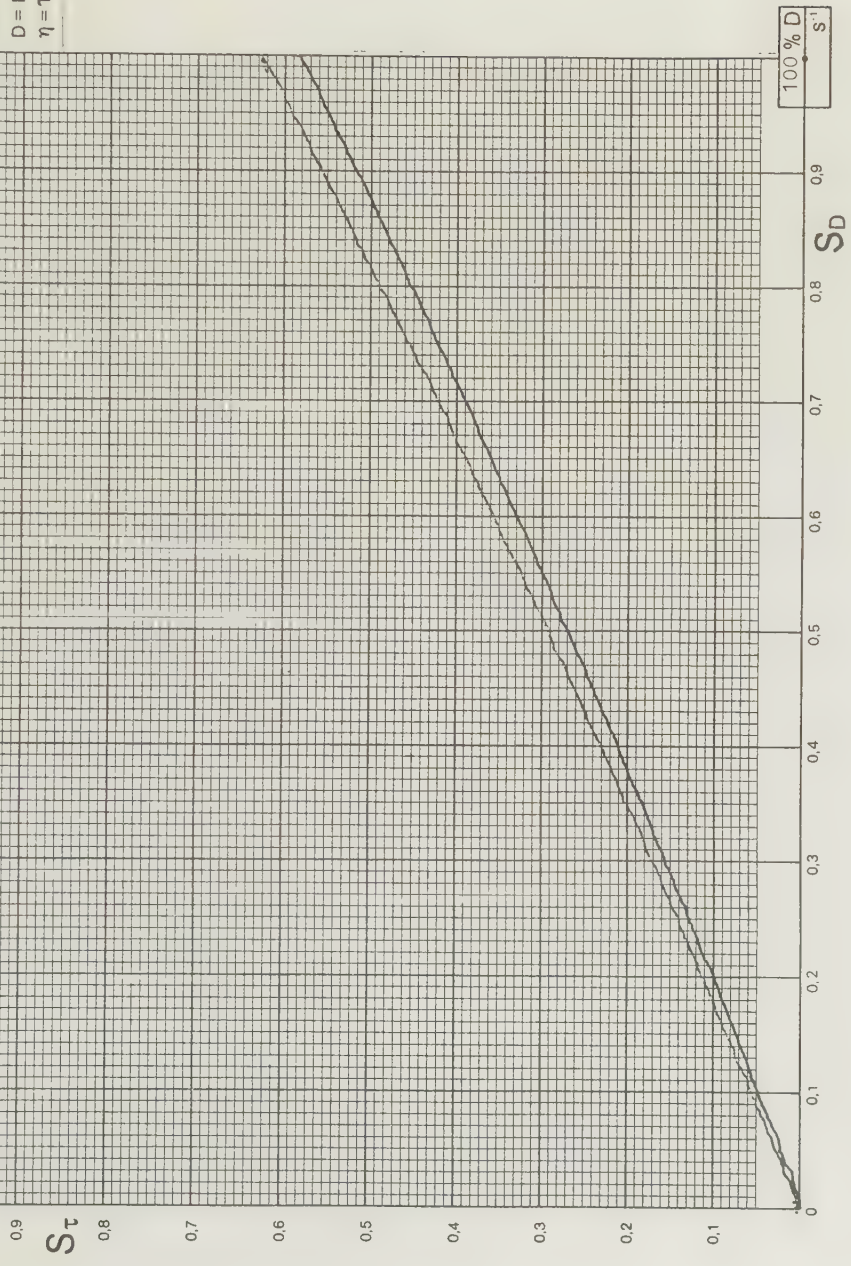
$\tau = A \cdot \% \tau \cdot S_{\tau} \text{ [Pa]}$
 $D = M \cdot \% D \cdot S_D \text{ [s}^{-1}\text{]}$
 $\eta = \tau/D \text{ [Pa} \cdot \text{s]}$



100 % D
s⁻¹

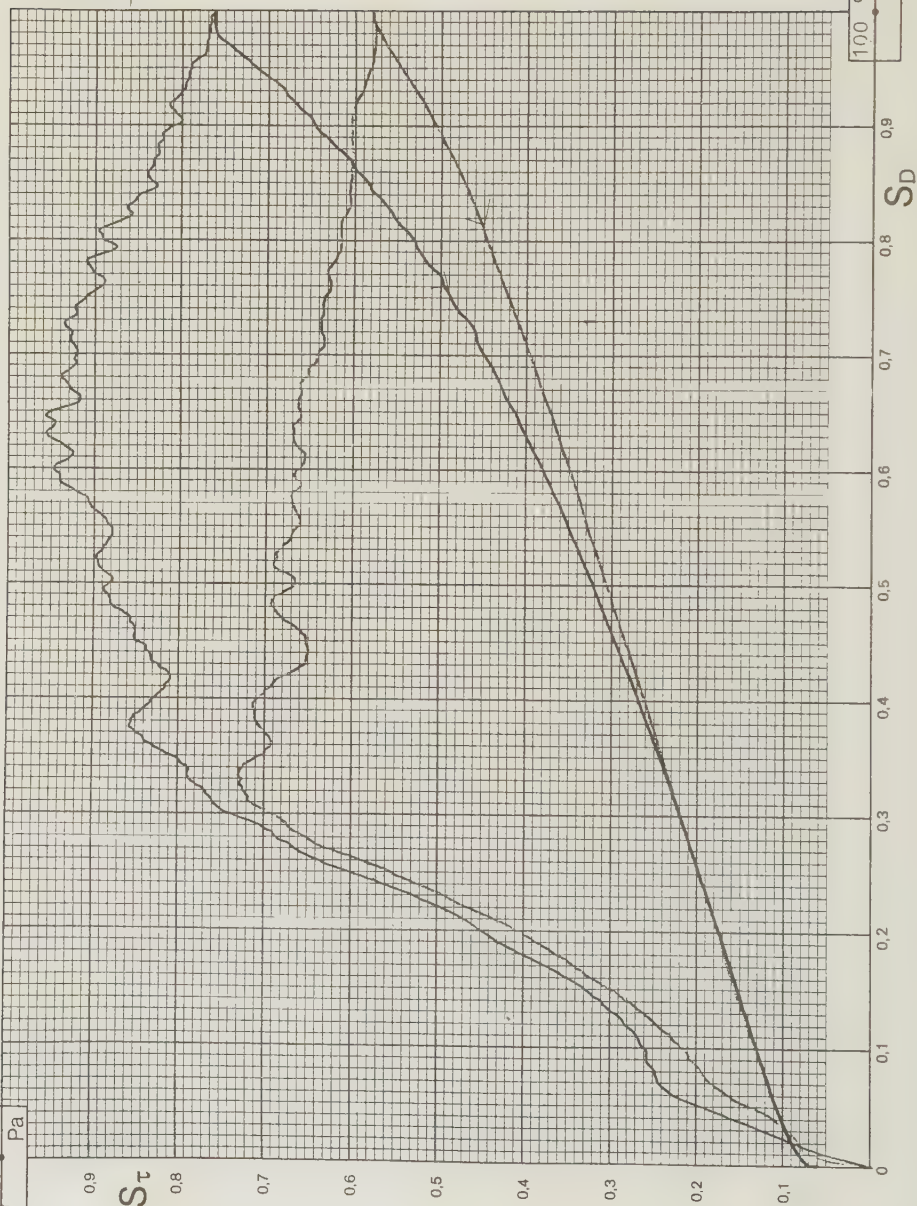
2 % τ
Pa

$\tau = A \cdot \% \tau \cdot S_\tau$ [Pa]
 $D = M \cdot \% D \cdot S_D$ [s⁻¹]
 $\eta = \tau/D$ [Pa · s]



3 % τ
Pa

$\tau = A \cdot \% \tau \cdot S_{\tau}$ [Pa]
 $D = M \cdot \% D \cdot S_D$ [s⁻¹]
 $\eta = \tau/D$ [Pa · s]



100 % D
s⁻¹

VII.

L I T E R A T U R V E R Z E I C H N I S

1. H.-R. Arntz,
H. Leonhardt: "Die therapeutische Beeinflussbarkeit von pathologischem Blutfließverhalten bei verschiedenen Hyperlipoproteinämietypen", Rheol. Act. 18, 129-133 (1979)
2. A. W. Burke
et. al.: "The effects of mannitol on blood viscosity", J. Neurosurg. 55: 550-553 (1981)
3. K. Berneis: "Bedeutung der Viskosität biologischer Flüssigkeiten", Pharm. Acta Helv. 47, 364-376 (1972)
4. G. P. Biro
et. al.: "Early deleterious hemorheologic changes following acute experimental coronary occlusion and salutary antihyperviscosity effect of hemodilution with stroma-free hemoglobin", Am. Heart J. Volume 103, No. 5, 870-877 (1982)
5. Angaben des Herstellers: "Deer Rheometer"
6. Bedienungsanleitung des Deer Rheometer
7. Deutsche Normen, Entwurf Dezember 1978: DK 532.135:001.4, Beuth Verlag GmbH, Berlin 30
8. G. S. Davis,
J. E. Dippy: "The Rheological Properties of Sputum", Biorheology, 1969, Vol. 6, pp. 11-21, Pergamon Press
9. R. Denton,
W. Forsman,
Sh. Hwang
et. al.: "Viscoelasticity of mucus: Its role in ciliary transport of pulmonary secretions", Am. Rev. Resp. Dis. 98: 380-391 (1968)
10. H. Eichner: "Zur Proteinzusammensetzung des menschlichen Parotissekretes" (unter Ruhe- und Reizbedingungen und seine Veränderung bei Drüsen-erkrankungen) Fortschr. Med. 95. Jg. Nr. 23, 1522-1526 (1977)

11. H. Eichner: "Physiologie der Speichelsekretion", im Druck (1983)

12. Ch. L. Heiden,
H.-J. Kornmesser,
A. Kretschamnn: "Viskosimetrische Probleme bei der Untersuchung von Tracheobronchialsekret",
Laryng. Rhinol. 53, 264-268 (1979)

13. E. Keal,
L. Reid: "Der Bronchialschleim - seine Bildung, Zusammensetzung und physikalischen Eigenschaften",
Internist 12, 416-415 (1971)

14. P. Koepp,
S. Hegewisch: "Effects of Guar on Plasma Viscosity and Related Parameters in Diabetic Children", E u. J. Pediatr., 137: 31-33 (1981)

15. W. Mann: "Viskosimetrie des Nebenhöhlensekretes",
Laryng. Rhinol. 57, 390-394 (1978)

16. M. Münzel: "Die Biochemie der menschlichen Speicheldrüsensekrete", Arch. Oto-Rhino. Laryngol., 213/1, 209-285 (1976)

17. K. N. V. Palmer
et. al.: "The Rheology of Bronchitic Sputum",
Br. J. Dis. Chest, 64, 185 (1970)

18. Aus
W. Phillipoff: Handbuch der Kolloidwissenschaft in Einzeldarstellungen, Band IX, "Viskosität der Kolloide", Verlag Theodor Steinkopf (1942):
Th. Graham: J. Chem. Soz. London 17, 318 (1864)
I Friedländer: Z. physik. Chemie 38, 385 (1901)
G. Hagen: Ann Physik (2) 16, 423 (1839)
(3) 7, 50 (1843)
J. L. M. Poiseuille: Ann. Chim. Phys. (3) 21, 76 (1847)
W. R. Heß: Münch. med. Wschr. 45, 1590 (1907)
M. Couette: Ann. physique Chim. (6) 21, 433 (1890)
E. Hatschek: Kolloid-Z. 13, 88 (1913)
H. Umstätter: Kolloid-Z. 39, 265 (1934)

19. S. Rauch: "Die Speicheldrüsen des Menschen", Georg Thieme Verlag, Stuttgart (1959)
20. H.-D. Renovanz: "Viskosimetrie inhomogener Körperflüssigkeiten", Dustrie-Verlag Dr. Karl Feistle, München-Deisenhofen (1978)
21. G. Schmidt: "Kompendium der Physik", 3. Auflage, VeB, Gustav Fischer Verlag, Jena (1975)
22. J. Schurz,
V. Ribitsch,
F. Rainer: "Rheologische Untersuchungen an Synovia und Synoviamodellen", Rheol. Acta 18, 139-150 (1979)
23. E. Weller: "Physikalische Grundlagen der Viskosimetrie unter besonderer Berücksichtigung des Moleculax", aus: "Viskosimetrie inhomogener Körperflüssigkeiten", Hrsg.: H.-D. Renovanz, Dustrie-Berlag Dr. Karl Feistle (1978)
24. E. Weller
et. al.: "Physikalische Grundlagen und Entwicklung einer neuen Apparatur" Wien. Med. Wochenschrift, Supplement Nr. 33
25. H. Zeidler
et. al.: "Rheologie pathologischer Gelenkflüssigkeiten, 1. Weitere Ergebnisse zur Viskoelastizität", Rheol. Acta 18, 151-167 (1979)

Danksagung

Ich danke Herrrn Professor Dr. H. H. Naumann
für die Bereitstellung des Arbeitsplatzes.

Herrn Professor Dr. H. Eichner danke ich für
die Überlassung des Themas und für die Hilfe,
die ich stets durch ihn erfahren habe.

Mein spezieller Dank gilt Herrn Professor D.
Liepsch, Fachhochschule München, für die Über-
lassung von Meßgeräten und für seine Beratung.

Lebenslauf

Am 09. 05. 1947 wurde ich in Flensburg als zweites von vier Kindern geboren, Sohn des Arztes Dr. med. Rudolf Reuter und seiner Frau Gisela geb. Martens.

1954 - 1959:	Besuch der Grundschule in Flensburg
1959 - 1963:	Gymnasialzeit am Alten Gymnasium, Flensburg
1963 - 1968:	Besuch der Freien Waldorfschule, Rendsburg, und Abschluß mit dem Abitur 1968
Wintersemester 1968/69:	Beginn des Medizinstudiums in Kiel
1972:	Physikum
1975:	Staatsexamen in Kiel
1976 - 1977:	Medizinalassistent am Stadtkrankenhaus Rendsburg
Mai 1977 - Juni 1978:	Stabsarzt im Marinefliegergeschwader V in Kiel-Holtenau
Aug. 1978 - März 1979:	Assistenzarzt an der Rheumaklinik in Bad Bramstedt (Schleswig-Holstein)
April 1979 - Dez. 1979:	Assistenzarzt am Kreiskrankenhaus Wangen im Allgäu, Chir. Abteilung
Jan. 1980 - Juni 1981:	Assistenzarzt an der Chir. Abteilung, und von
Juli 1981 - April 1982:	auf der Inneren Abteilung des Heilig-Geist-Hospitals in Hagen/Westf.
seit Mai 1982:	Assistenzarzt im Klinikum Großhadern, München, in der Klinik für Physikalische Medizin

